

**Antti Mäntylä**

## **KVARTSIN JA MAASÄLVÄN EROTUS VAAHDOTTAMALLA**

**Kvartsin ja maasälvän vaahdotusten kertaus ja vaahdotusreagenssien optimointi**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2016**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Aika</b> Toukokuu 2016	<b>Tekijä/tekijät</b> Antti Mäntylä
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikka		
<b>Työn nimi</b> KVARTSIN JA MAASÄLVÄN EROTUS VAAHDOTTAMALLA. Kvartsin ja maasälvän vaahdotusten kertausta ja vaahdotusreagenssien optimointi		
<b>Työn ohjaaja</b> Laura Rahikka		<b>Sivumäärä</b> 68 + 9
<b>Työelämäohjaaja</b> Olle Sirén		
<p>Tämä opinnäytetyö on jatkoa Henri Tikkakosken opinnäytetyölle, jossa etsittiin kokeellisesti toimivia kokoojakemikaaleja Keliber Oy:n kvartsi-maasälvän vaahdotukseen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli testata kolmea edeltävässä opinnäytetyössä parhaiten toimivaksi todettua kemikaalia kolmella eri tehtävän annolla. Tehtävinä olivat kertausvaahdotus, kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku sekä kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteiden testaus. Kolme toimivaksi todettua kokoojaa olivat Armac T, Armac C ja kokoojakemikaali yhdiste, joka koostui AERO 3030C:stä ja AERO 825:stä.</p> <p>GTK oli toimittanut vaahdotuskokeiden raaka-aineen jo edeltävään opinnäytetyöhön, joten ne oli hankittu valmiiksi. Malmia oli Syväjärven sekä Längän esiintymästä. Kaikissa vaahdotuskokeissa käytettiin syötteinä GTK:lta saatua malmia paitsi kertausvaahdotuksissa käytettiin edeltävästä opinnäytetyöstä saatuja rikasteita.</p> <p>Opinnäytetyön vaahdotuskokeet suoritettiin 8.4–15.4.2016 välisenä aikana. Vaahdotuskokeita suoritettiin yhteensä 13, joista 7 Syväjärven malmille ja 6 Längän malmille. Kertausvaahdotuksia suoritettiin 4 kappaletta, joista 2 kummallekin malmille. Kokoojakemikaalin annostuksen nosto- ja lasku vaahdotuskokeita suoritettiin 5 kappaletta, joista 3 Syväjärven malmille ja 2 Längän malmille. Kokoojakemikaali annostuksen nosto- ja laskuosion tarkoituksena oli testata kokoojakemikaalien Armac T ja Armac C annostusta pienemmällä ja suuremmalla annostuksella kuin edeltävässä opinnäytetyössä. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhdetestaus vaahdotuskokeita suoritettiin yhteensä 4 kappaletta, joista 2 vaahdotusta molemmille malmeille. Kokoojakemikaalin yhdisteen eri suhdetestaus vaahdotuskokeiden tarkoituksena oli testata kokoojakemikaali yhdistettä kahdella eri suhteella kuin edeltävässä opinnäytetyössä.</p> <p>Vaahdotuskokeista saadut jätteet ja rikasteet imusuodatettiin ja kuivattiin. Ennen vaahdotuksia syöttestä otettiin 10 gramman näyte. Kuivauksen jälkeen rikasteesta ja jätteestä otettiin 10 gramman näytteet. Kaikki näytteet lähetettiin 15.4.2016 Labtium Oy:lle analysoitavaksi. Labtium Oy sai XFR-analyysit valmiiksi 22.4.2016.</p>		
<b>Asiasanat</b> Vaahdotus, kvartsi-maasälpä, Kokoojareagenssi		

## ABSTRACT

<b>UNIT</b> Centria University of Applied Sciences	<b>Date</b> May 2016	<b>Author</b> Antti Mäntylä
<b>Degree programme</b> Chemical engineering		
<b>Name of thesis</b> QUARTZ AND FELDSPAR SEPARATION THROUGH FLOTATION. Iteration of the quartz and feldspar flotation experiments and the optimizing of the flotation reagents.		
<b>Instructor</b> Laura Rahikka		<b>Pages</b> 68 + 9
<b>Supervisor</b> Olle Sirén		
<p>This thesis was a continuation to Henri Tikkakoski's thesis, in which he empirically determined the working collector reagents for the flotation of Keliber Oy's quartz-feldspar. The focus of this thesis work was to test the three most well suited chemicals with three different assignments. The assignments were review flotation, raising and lowering the dosage of the collector reagent and differing ratios for the collector reagent combination. The three collectors found suitable were Armac T, Armac C and a combination of AERO 3030C and AERO 825.</p> <p>GTK had already supplied the raw material of the flotation experiments for the preceding thesis work. The ore was from the Syväjärvi deposit and the Länttä deposit. The ore supplied by GTK was used in all the flotation tests except for the review flotation in which the concentrate from the preceding thesis work was used.</p> <p>The flotation tests for the thesis were performed between 8 April – 15 April 2016. A total of 13 flotation tests were performed, 7 for the Syväjärvi ore and 6 for the Länttä ore. A total of 4 review flotation tests were performed, 2 for each ore. 5 flotation tests with varying doses of the collector reagents were performed, 3 for the Syväjärvi ore and 2 for the Länttä ore. The purpose of this was to test Armac T and Armac C with different dosages than in the preceding thesis work. 4 flotation tests were performed with differing ratios of the combined collector reagents, 2 for each ore. The purpose of this was to test the combined collector reagents with different ratios than in the preceding thesis work.</p> <p>The resulting tailings and concentrates from the flotation tests were filtered and dehumidified. Before the flotation tests a 10 gram sample was taken of the feed. After the dehumidification 10 gram samples were taken of both the concentrate and the tailing. All the samples were sent on the 15 April 2016 to Labtium Oy for analysis. Labtium Oy finished the analyses on 22 April 2016.</p>		
<b>Key words</b> Flotation, quartz-feldspar, collector reagent		

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 KELIBER OY .....</b>	<b>2</b>
2.1 Historia.....	2
2.2 Tulevaisuus .....	4
<b>3 SPODUMEENI .....</b>	<b>6</b>
3.1 Maasälpä .....	6
3.1.1 Kalimaasälpä .....	7
3.1.2 Plagioklaasi .....	8
3.1.3 Kvartsi.....	8
<b>4 VAAHDOTUS .....</b>	<b>10</b>
4.1 Vaahdotuskone .....	12
4.2 Vaahdotusreagenssit .....	13
4.2.1 Kokoojat.....	13
4.2.2 Vaahdotteet.....	14
4.2.3 pH .....	15
4.2.4 Säännöstelykemikaalit .....	16
4.3 Kvartsi-maasälvän vaahdotus.....	17
<b>5 KOESUUNNITELMA.....</b>	<b>20</b>
<b>6 KOKEIDEN SUORITUS .....</b>	<b>25</b>
6.1 Kokeiden esivalmistelut .....	25
6.1.1 Tarvittavat työvälineet.....	26
6.1.2 Kokoojareagenssien valmistelu .....	26
6.2 Koevaahdotukset .....	29
6.2.1 Kertausvaahdotukset .....	30
6.2.2 Kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku .....	33
6.2.3 Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus .....	36
6.3 Imusuodatus ja kuivaus.....	38
6.4 Loppupunnitukset ja näytteenotot analyysyä varten .....	39
<b>7 TULOKSET JA POHDINTA .....</b>	<b>40</b>
7.1 Kertausvaahdotukset .....	41
7.1.1 Vaahdotuskokeet A4c ja B4c.....	42
7.1.2 Vaahdotuskokeet A6c ja B6c.....	44
7.2 Kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku .....	45
7.2.1 Vaahdotuskoe A3 .....	46
7.2.2 Vaahdotuskokeet A4a ja B4a .....	48
7.2.3 Vaahdotuskokeet A4b ja B4b.....	50
7.3 Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus .....	55
7.3.1 Vaahdotuskokeet A6a ja B6a .....	56

7.3.2 Vaahdotuskokeet A6b ja B6b.....	59
7.4 Muut tulokset.....	63
8 LOPPUPÄÄTELMÄT .....	65
LÄHTEET .....	68
<b>LIITTEET</b>	
LIITE 1. Kaikkien vaahdotuskokeiden pitoisuudet ja saannit taulukoituna .....	69
LIITE 2. Labtium Oy:n saadut XRF-tulokset .....	70
LIITE 3. Kaikkien vaahdotuskokeiden saannit.....	77
<b>KUVAT</b>	
KUVA 1. Yhtiön kehitysvaiheet .....	4
KUVA 2. Keliber Oy:n litiumprovinssi .....	5
KUVA 3. Ensimmäisen luokan spodumeenikristalli .....	6
KUVA 4. Kalimaasälpä lohkar .....	7
KUVA 5. Plagioklaasin lohkopinta .....	8
KUVA 6. Kvartsin simpukkamainen murro .....	9
KUVA 7. Vaahdotuksen toimintaperiaate .....	10
KUVA 8. Vaahdotuksen komponenttien vaikutus toisiinsa .....	11
KUVA 9. Vaahdotuskoneen yleisrakenne .....	12
KUVA 10. Vaahdotemolekyylin tarttuminen kuplan pinnalle .....	15
KUVA 11. Kriittinen pH Na-dietyyliditiofosfaatti-vaahdotuksessa .....	15
KUVA 12. Anionisen ja kationisen kokoojan suhteen vaikutus vaahdotukseen .....	17
KUVA 13. pH:n vaikutus albiitin aktivoitumiseen.....	18
KUVA 14. Kokoojaseoksen (NATMD + SPS) määrän vaikutus maasälvän ja kyaniitin erotukseen kvartsista vaahdottamalla .....	19
KUVA 15. Koevaahdotuksissa käytettävät kokoojakemikaalit .....	20
KUVA 16. Vaahdotuskokeita varten punnitut raaka-aineet .....	26
KUVA 17. Kokoojakemikaalien saostuminen kahdessa vuorokaudessa.....	27
KUVA 18. AERO 825 kokoojakemikaalin liuotus .....	28
KUVA 19. Armac T kokoojakemikaalin liuotus .....	29
KUVA 20. Denver-vaahdotuskone .....	30
KUVA 21. Kertausvaahdotukset A4c ja B4c.....	31
KUVA 22. Kertausvaahdotukset A6c ja B6c.....	32
KUVA 23. Koevaahdotus A3 .....	33
KUVA 24. Koevaahdotukset A4a ja B4a .....	34
KUVA 25. Koevaahdotukset A4b ja B4b .....	35
KUVA 26. Koevaahdotusten A6a ja B6a näköhavaintoja.....	36
KUVA 27. Koevaahdotukset A6b ja B6b .....	37
KUVA 28. Työssä käytetty imusuodatuslaitteisto .....	38
KUVA 29. Näytteet syötteistä .....	39
KUVA 30. Kertausvaahdotus A4c pitoisuudet .....	42
KUVA 31. Kertausvaahdotuksen B4c pitoisuudet .....	43
KUVA 32. Kertausvaahdotuksen B4c saanti .....	43
KUVA 33. Kertausvaahdotuksen A6c pitoisuudet .....	44
KUVA 34. Kertausvaahdotuksen B6c pitoisuudet .....	45
KUVA 35. Vaahdotuskokeen A3 pitoisuudet.....	47
KUVA 36. Vaahdotuskokeen A3 saannit.....	47

KUVA 37. Vaahdotuskokeen A4a pitoisuudet .....	49
KUVA 38. Vaahdotuskokeen A4a saannit .....	49
KUVA 39. Vaahdotuskokeen B4a pitoisuudet .....	50
KUVA 40. Vaahdotuskokeen B4a saannit.....	50
KUVA 41. Vaahdotuskokeen A4b pitoisuudet.....	51
KUVA 42. Vaahdotuskokeen A4b saannit .....	52
KUVA 43. Vaahdotuskokeiden A4, A4a ja A4b saannit suhteessa kokoojakemikaalin annostukseen ..	52
KUVA 44. Vaahdotuskokeen B4b pitoisuudet .....	53
KUVA 45. Vaahdotuskokeen B4b saannit .....	53
KUVA 46. Vaahdotuskokeiden B4b, B4 ja B4a saannit suhteessa kokoojakemikaalin annostukseen ..	54
KUVA 47. Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja lasku-osion saannit.....	54
KUVA 48. Vaahdotuskokeen A6a pitoisuudet .....	57
KUVA 49. Vaahdotuskokeen A6a saannit .....	57
KUVA 50. Vaahdotuskokeen B6a pitoisuudet .....	58
KUVA 51. Vaahdotuskokeen B6a saannit.....	58
KUVA 52. Vaahdotuskokeen A6b pitoisuudet.....	59
KUVA 53. Vaahdotuskokeen A6b saannit .....	60
KUVA 54. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen vaikutus saantiin Syväjärven malmilla.....	60
KUVA 55. Vaahdotuskokeen B6b pitoisuudet .....	61
KUVA 56. Vaahdotuskokeen B6b saannit .....	61
KUVA 56. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen vaikutus saantiin Längän malmilla .....	62
KUVA 57. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus osion saannit.....	62
KUVA 58. Kaikkien vaahdotuskokeiden rautaoksidi-pitoisuudet.....	63
KUVA 59. Vaahdotuskokeiden rikasteen ja jätteen suhde .....	64
KUVA 60. Vaahdotuskokeiden hukkaprosentit.....	64

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Koesuunnitelma kertaustaahdotuksille .....	21
TAULUKKO 2. Koesuunnitelma kokoojakemikaali yhdisteen suhteen eri testaukselle .....	22
TAULUKKO 3. Koesuunnitelma kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku kokeisiin.....	22
TAULUKKO 4. Kertaustaahdotusten havainnot .....	32
TAULUKKO 5. Muistiinpanot kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja lasku vaahdotuskokeista .....	35
TAULUKKO 6. Kokoojakemikaali yhdistelmän eri suhteen testauksen vaahdotusten havainnot .....	37
TAULUKKO 7. Koesuunnitelma kertaustaahdotuksista täytettynä .....	41
TAULUKKO 8. Kokoojakemikaali annostelun nosto- ja lasku-vaahdotuskokeiden koesuunnitelma täydennettynä .....	46
TAULUKKO 9. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus vaahdotuskokeiden koesuunnitelma täydennettynä .....	56

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Keliber Oy. Se on Keski-Pohjanmaan Kaustisella toimiva kaivosyritys, jonka päätuote on litium. Yrityshanke kaivoksen aloittamiseksi on ollut työn alla kymmeniä vuosia. Litiumin alhaisen maailmanmarkkinahinnan ja kysynnän takia tuotantoa ei ole vielä aloitettu. Ympäristö-, lupa- ja kaavoitus asiat selvitettyään yritys voisi aloittaa kaivostoimintansa ja tuotannon parin vuoden sisällä.

Keliber Oy:n litiumin rikastusprosessi tuottaa sivutuotteena kvartsi-maasälpää. Yleensä kvartsi-maasälvän vaahdotuksessa käytetään fluorivetyhappoa, mutta sille ei enää tulla myöntämään ympäristölupia. Tätä opinnäytetyötä edeltäneen Henri Tikkakosken opinnäytetyön aiheena oli etsiä kokoojakemikaaleja fluorivetyhapon korvaajaksi vaahdotettaessa Keliber Oy:n kvartsi-maasälpä malmia. Tehtäväni on jatkaa tuosta opinnäytetyöstä ja testata toimineiden kokoojakemikaalien annostusta sekä suorittaa kertausvaahdotukset edeltävän opinnäytetyön parhaiten menneille vaahdotuskokeille. Kokeilla pyritään selvittämään kemikaaliannostusta sekä kemikaaliyhdisteiden oikeita suhteita.

Opinnäytetyö koostuu teoreettisesta- ja kokeellisesta osuudesta. Teoreettinen osuus koostuu kirjallisuuden ja artikkeleiden tutkimisesta. Edeltävän opinnäytetyön tulokset käydään läpi parhaiden kokoojakemikaalien selvittämiseksi. Teoreettisessa osuudessa perehdytään itsessään vaahdotukseen sekä vaahdotettavaan mineraaliin. Kokeellisessa osuudessa valitsemme edeltävän opinnäytetyön pohjalta parhaiten toimineet kokoojakemikaalit. Seuraavaksi laaditaan koesuunnitelma, jonka pohjalta koevaahdotukset suoritetaan. Vaahdotukset tehdään Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratorion vaahdotuskoneella. Vaahdotuksen tuloksista otetaan näytteet, jotka lähetetään eteenpäin Labtium Oy:lle analysoitaviksi. Analyysien pohjalta katsotaan, mitkä ovat oikeanlaiset kemikaalisuhteet, annostukset sekä kuinka ne vaikuttavat pitoisuuksiin ja saanteihin.



## 2 KELIBER OY

Keliber Oy on Keski-Pohjanmaalla Kaustisen alueilla sijaitseva kaivosyritys. Yritys ei ole vielä päässyt tuotantoon, koska rahoittajien sekä ympäristölupien hankinta on vielä kesken. Keliber Oy:n tuotantoprosessi sekä rakentamisen aikataulusuunnitelma ovat suunniteltu jo valmiiksi. Tämänhetkisten tietojen mukaan tuotanto alkanee vuonna 2018. Keliber Oy:n päätuote on litium (Li), ja tarkemmin litiumkarbonaatti ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ). Yrityksen nykyisenä toimitusjohtajana toimii Olle Sirén. Kaivoksen tuotannon alkamisen esteinä ovat tähän asti olleet rahoitus ja litiumin alhainen maailmanmarkkinahinta. Litiumin käyttö on noussut vuosina 2010–2011 noin 5,6 % vuodessa, ja nykyiseksi kasvuksi on arvioitu USGS:n mukaan 9,5 %. Litiumin kysynnän kasvu on viime vuosina saanut Keliber-projektin uudestaan käyntiin. (Sirén 2015; Keliber Oy 2013.)

Nordic Mining ASA on norjalainen kaivosyhtiö, joka omistaa Keliber Oy:n osakkeista enemmistön, 25,04 %. Loput Keliber Oy:n osakkeista ovat suomalaisomisteisia, mutta pienemmissä osin. Suurimmat osakkeen omistajat Nordic mining yhtiön jälkeen ovat Suomen Teollisuussijoitus Oy 19,97 %, Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen 8,55 %, Ab Mine Invest Oy 7,91 %, Thominvest Oy 6,93 %. Kaiken kaikkiaan Keliber Oy:n osakkeet jakaantuvat 54 osakkeenomistajalle. (Sirén 2015.)

Yhtiön neljä suurinta litium-esiintymää sijaitsevat Keski-Pohjanmaalla. Ne ovat Syväjärven, Lántán, Outoveden ja Rapasaaren alueilla. Syväjärven esiintymä on todettu merkittävämmäksi malminlouhinta esiintymäksi. Malmietsintöjä on suoritettu myös Päivänevan, Leviäkankaan, Emmeksen ja Jäneslammen alueilla. Valtaus- sekä malminetsintälupia yhtiöllä on kokonaisuudessaan 25 kpl. Keliber Oy:n litium-provinssin toiminta-alueeksi on arvioitu yli 500 km<sup>2</sup>, josta valtausvarauksien pinta-ala kattaa 10,1 km<sup>2</sup>. (Sirén 2015.)

### 2.1 Historia

Keliber Oy sai alkunsa vuonna 1956, kun Keski-Pohjanmaan Kaustiselta löydettiin beryyllipitoisia irtolohkareita. Irtolohkareita tutkiessa huomattiin niiden sisältävän trifylliitti-nimistä litiumfosfaattimineraalia. Vuonna 1959 Kaustislainen malminetsijä Arvo Puumala vei löytämänsä lohkareita Ilmari Haapalalle tutkittavaksi, joka toimi näihin aikoihin Suomen mineraali Oy:n geologian kesäharjoittelijana. Kaustisen Nikulasta löydetty irtolohkare sisälsi molemmille tuntemattomia

mineraaleja, jotka paljastuivat spodumeeniksi eli harvinaiseksi litium-mineraaliksi. Samankaltaista litium-mineraalia oli löydetty Suomesta aikaisemmin ainoastaan Eräjärveltä ja Somerosta. (Keliber Oy 2013)

Litium-mineraalilöydöksiä ansiosta Suomen Mineraali Oy aloitti geologi Klaus Säynäjärven johdolla laajamittaisen lohkarekartoituksen Kaustisen ja sen lähikuntien alueella. Paraisten Kalkkivuori Oy:n ostettua Suomen Mineraali Oy:n, malmietsintöjä jatkettiin. Paraisten Kalkkivuori Oy:n etsintöjen ansiosta löydettiin litium-esiintymät Alavetelin Emmesistä ja Jänislammelta sekä Ullavan Läntästä. Mahdollisen kaivostoiminnan aloittamiseksi Emmesin ja Läntän esiintymien kairaukset suoritettiin valmiiksi 1960-luvulla. Muita spodumeenijuonia löydettiin myös Kaustisen Vintturista ja Kälviän Ruohojärveltä, mutta niitä ei tutkittu tarkemmin. (Keliber Oy 2013)

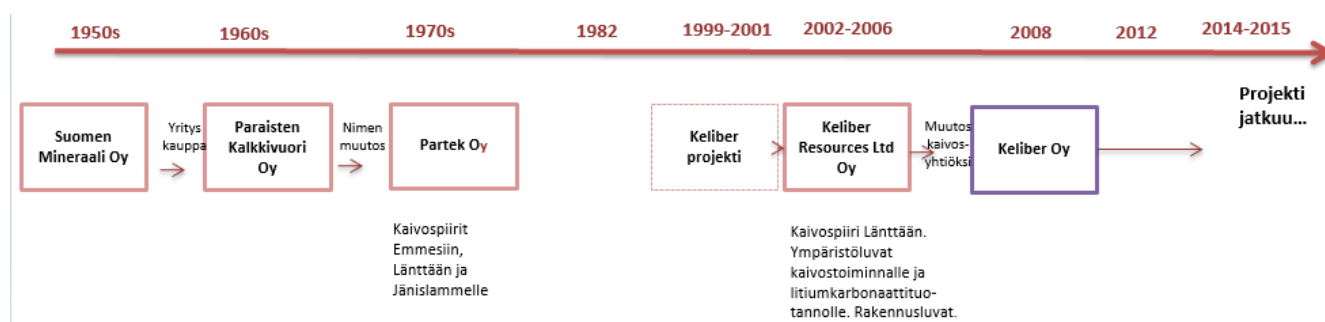
Vuosien saatossa Paraisten Kalkkivuori Oy:n nimi vaihtui Partek Oy:ksi. Partek Oy suoritti laajamittaisia tutkimuksia litium-esiintymien hyödyntämiseksi vuosina 1976–1982. Partek Oy:n tutkimukset keskittyivät pääasiassa spodumeenimalmin rikastustutkimuksiin. Tutkimuksia tehtiin myös malmista saataville määsälpä-, kvartsi- ja kiillerikasteille, jotka ovat prosessin sivutuotteita. Partek Oy tutki jo tuolloin spodumeenimalmin rikastusprosessin litiumkarbonaatiksi, joka on litiumin yleisin kauppataivaramuoto. Kaivos- ja rikastustoimintaan litiumkarbonaatin tuottamiseksi ei kuitenkaan aloitettu, koska 1980-luvulla litiumin maailman markkinahinta oli liian alhainen. Partek Oy:llä oli valtaukset Jänislammella vuosina 1967–1992 sekä esiintymän kaivoslupa vuosille 1972–1987. Yhtiön muita valtauksia oli myös Längssä ja Emmesissä vuosina 1967–1971, joille oli kaivosluvut vuosille 1972–1992. Partek Oy antoi valtauksien ja kaivoslupien vanheta, koska silloiset litiummarkkinat eivät kehittyneet odotetulla tavalla. (Keliber Oy 2013)

Varsinainen Keliber-projekti sai alkunsa vuonna 1999, jolloin yhtiö teki varaukset viidelle eri litium-esiintymälle. Samana vuonna työryhmä valmisteli hankkeelle kattavan projektisuunnitelman, jonka pohjalta alettiin etsiä rahoittajia alustavalle tutkimukselle. Vuonna 2000 Etelä-Pohjanmaan TE-keskus myönsi hankkeelle EU-rahoituksen. Saatuaan rahoituksen työryhmä aloitti tutkimusprojektin, joka jatkui vuoden 2001 syksyyn asti. Tutkimusprojektin tulokset osoittautuivat niin kannattaviksi, että tutkimusten pohjalta perustettiin tutkimus- sekä kehitysyritys Keliber Resources Ltd. (Keliber Oy 2013)

Vuosina 2000–2009 litiumin hinta sekä kysyntä maailmanmarkkinoilla oli huomattavassa kasvussa. Maailmanmarkkinoiden kasvun ansiosta Keliber Resources Ltd suoritti vuosina 2004–2005

lisäkairauksia ja tutki Ullavan Längän litium-esiintymää kaivostoiminnan mahdollistamiseksi. Vuonna 2006 Keliber Resources Ltd:lle myönnettiin kaivos- ja ympäristöluvat Ullavan Längän esiintymälle, sekä ympäristöluvat Kaustisen Kalavedelle. Samoina vuosina projektille myönnettiin rakennusluvat Kalaveden ja Längän alueille. Keliber Resources Ltd:n työryhmä suunnitteli uuden litiumkarbonaatin tuotantoprosessin vuosina 2001–2006. Uusi tuotantoprosessi on kohdennettu erityisesti Keski-Pohjanmaalla esiintyvälle spodumeenimalmille. Vuonna 2006 yhtiö sai nykyisen nimensä Keliber Oy, kun tutkimus- ja kehitysyhtiö muutettiin kaivosyhtiöksi. (Keliber Oy 2013)

Vuonna 2008 Keliber Oy:n omistuksessa tapahtui muutoksia, kun Nordic Mining ASA:sta tuli yhtiön pääomistaja ostettuaan 68 % yhtiön osakkeista. Malmietsintöjä jatkettiin vielä vuosina 2008–2010, jonka seurauksena löydettiin Outoveden esiintymä. Vuonna 2012 Keliber Oy:n osakkeilla käytiin kauppaa, jolloin yhtiön suurimmiksi omistajiksi muodostuivat Nordic Mining ASA 38 %, Suomen Teollisuussijoitus 15,6 % sekä Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen 13 %. Pääsijoittajien lisäksi yhtiön omistajina oli mukana 12 suomalaista sijoitusyhtiötä ja yksityistä sijoittajaa. (Keliber Oy 2013.)

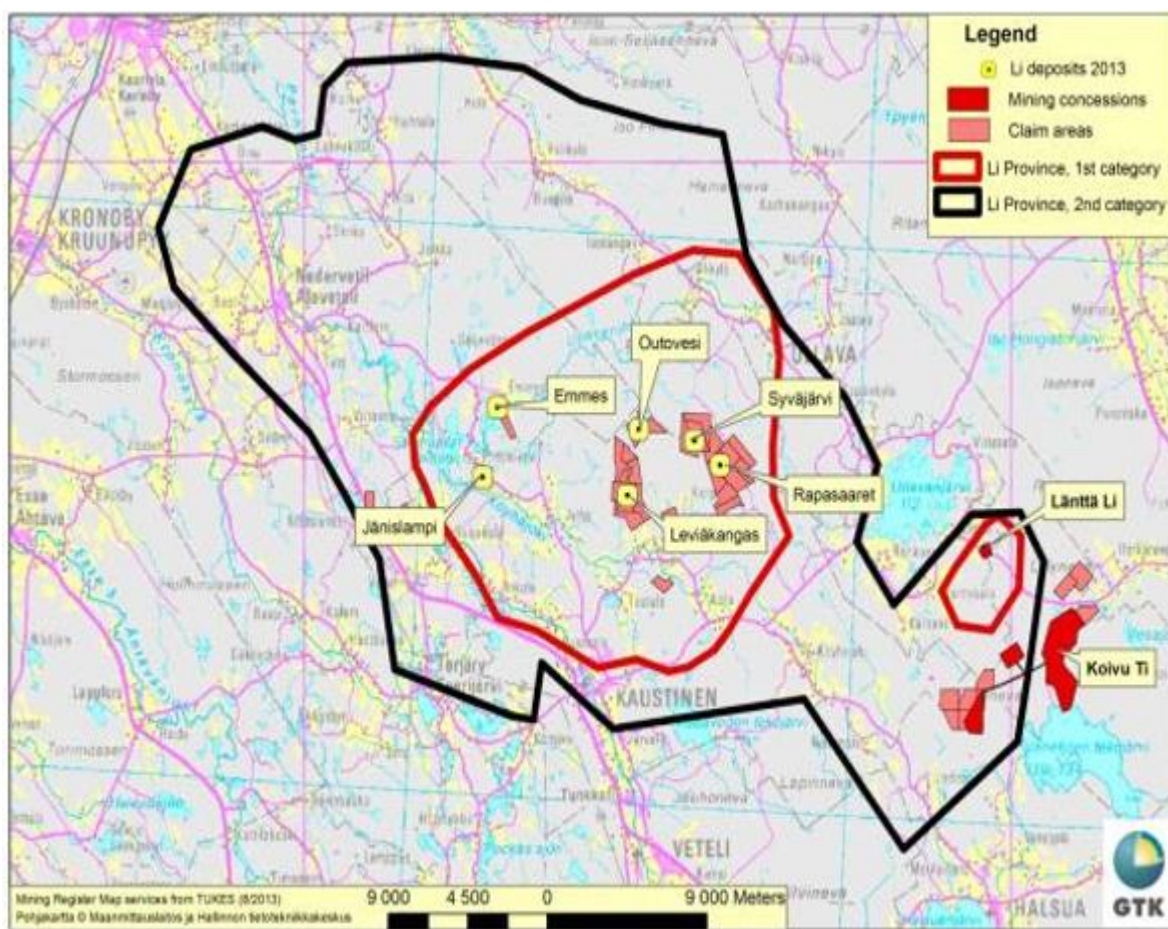


KUVA 1. Yhtiön kehitysvaiheet (Sirén 2015.)

## 2.2 Tulevaisuus

Keliber Oy:n tämänhetkisiin tavoitteisiin kuuluu projektirahoituksen hakeminen, jota yritys tarvitsisi 80–100 M€. Tulevaisuuden tavoitteita ovat myös louhinta-alueiden ympäristö- sekä kaivoslupien hankkiminen. Tutkimukset prosessin sekä kaavoituksen suhteen tulee saada päätökseen ennen tuotannon aloittamista. Tilanneselvitys viitasammakoiden ja maakotkien suhteen alueella täytyy saada selville. (Sirén 2015.)

Kun kaikki tuotantoa edeltävät tavoitteet ja toimenpiteet on saatu kuntoon, Läntän kaivospiiriä alettaisiin laajentaa arviolta vuonna 2016. Vuosien 2016–2017 aikana suoritettaisiin rakentaminen sekä tuotannon käynnistys. Suunnitelman mukaan Läntän kaivos voitaisiin käynnistää vuoteen 2018 mennessä. Keliber Oy:n tulevaisu malminlouhinta-kapasiteetiksi on arvioitu 250 000–300 000 t/a, josta puhdasta litiumkarbonaattia tuotettaisiin 6000 t/a. Arvioiden mukaan kaivoksen tuotannon liikevaihto tulisi täydellä kapasiteetilla olemaan suuruudeltaan 50–60 M€/a. (Sirén 2015.)



KUVA 2. Keliber Oy:n litiumprovinssi (Keliber Oy 2013.)

### 3 SPODUMEENI

Spodumeeni eli  $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$  on kiderakenteeltaan litteinä prismoina esiintyvä pyrokseeniryhmään kuuluva mineraali. Se on muodoltaan usein pituussuunnassa viirukkeinen mineraali. Spodumeenin värit voivat vaihdella harmaanvalkeasta kellertävään, punertavaan ja vihertävään. Sen kiiltävyys on lasikiiltoa. Mineraalin lohkosuuntia on yksi täydellinen ja kaksi heikompa suuntaa. Sen ominaispaino on noin  $3,1 \text{ t/m}^3$  ja kovuus on 6,5–7,5 Mohsin asteikolla. Spodumeenia löydetään yleensä graniittipegmatiiteista, jossa se esiintyy senttimetristä jopa metrinkin mittaisina kiteinä. Suomesta spodumeenipitoisia pegmatiitti-esiintymiä on löydetty noin 30. Tärkeimmät esiintymät sijoittuvat Keski-Pohjanmaan alueelle. Spodumeenin tärkeimpiä käyttökohteita ovat lasi- ja keramiikkateollisuus. Spodumeenin korkean litiumpitoisuuden vuoksi sen rooli kasvaa kokoajan litiumsuolojen valmistuksessa. Läpikuultavia vihreitä ja violetteja spodumeeni muunnoksia käytetään jopa jalokivinä. (Grönholm, Alviola, Kinnunen, Kojonen, Kärkkäinen & Mäkitie 2009, 30.)



KUVA 3. Ensimmäisen luokan spodumeenikristalli (Silver 2016.)

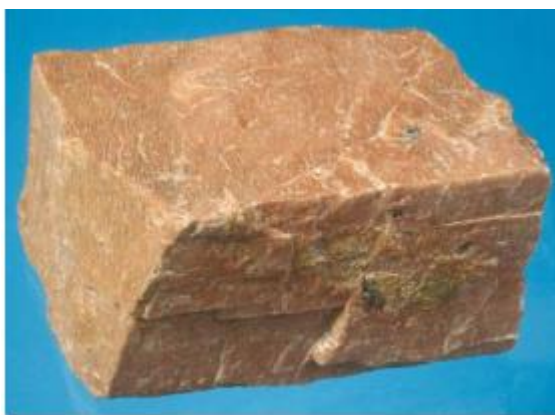
#### 3.1 Maasälpä

Maasälvät ovat merkittävin kivilajeista koostuva mineraaliryhmä. On arvioitu, että puolet maapallonkuoresta koostuu maasälvistä. Eri maasälpien osuudet tuosta puolikkaasta ovat: kvartsia 12 %, pyrokseeneja 11 %, amfioleja 5 %, kiilteitä 5 %, savimineraaleja 5 %, oliviinia 3 % ja muita maasälpä-mineraaleja lisäksi vajaat 10 %. Maasälvät luokitellaan hohkasilikaatteihin.

Hohkasiliikaateilla on yhteneväistä kemiallinen koostumus sekä trikliininen kiderakenne. Maasälvät jaetaan kahteen eri ryhmään päätejäsentensä mukaan, plagioklaaseihin ja kalimaasälpiin. (Lehtinen, Nurmi & Rämö 1998, 31; Grönholm ym. 2009, 30.)

### 3.1.1 Kalimaasälpä

Kalimaasälpä on plagiokaasimaasälpien kanssa yksi maankuoren yleisemmistä mineraaleista. Kalimaasälpä on yleisnimitys kolmelle eri mineraalille, jotka ovat sanidiini, ortoklaasi ja mikrokliini. Sanidiini on pysyvässä muodossa yli 500 °C, kun taas ortoklaasi on pysyvä 300–500 °C ja mikrokliini alle 300 °C. Alhaisissa lämpötilojen juonissa näkyvä adulaari on usein ortoklaasia tai mikrokliiniä. Ainoa keino erottaa kalimaasälvät toisistaan on kiderakennetutkimuksella, joka suoritetaan polarisaatiomikroskoopilla tai röntgendifraktio-menetelmällä. Ominaispainoltaan kalimaasälpä on noin 2,6 t/m<sup>3</sup> ja kovuus 6–6,5 Mohsin asteikolla. Sillä on täydellinen lohkeavuus kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Kalimaasälvällä on lasimainen kiilto ja sen väri voi olla vaalea, harmaa, ruskea, kellertävä, punertava tai vihreä. Mineraalista lähtevä viiru on väriltään valkea tai erittäin vaalea. Kalimaasälpää louhitaan nykyään Suomessa vain Kemiön pegmatiittisesta graniitista. Suomessa sitä tuotetaan noin 35 000 tonnia vuodessa. Kalimaasälvän tärkeimpiä käyttökohteita ovat keramiikka- ja lasiteollisuus. (Grönholm ym. 2009, 26.)



KUVA 4. Kalimaasälpä lohkare (Grönholm ym. 2009, 26)



### 3.1.2 Plagioklaasi

Plagioklaasi on albiitin eli natrium-maasälvän ja anortiitin eli kalsium-maasälvän seos. Albiitti ja anortiitti ovat sekoittuneet kiviluolassa kiteytyessään täydellisesti. Plagioklaasi on merkittävä maasälpä, sillä noin 40 % maankuoren mantereista koostuu siitä. Plagioklaasien nimet ja koostumus määräytyvät mineraalin anortiittipitoisuuden mukaan. Plagioklaasisarjan jäsenten nimeäminen tehdään seuraavasti: albiitti sisältää 0–10 % anortiittia, oligoklaasi sisältää 10–30 %, andesiini 30–50 %, labradoriitti 50–70 %, bytowniitti 70–90 % ja anortiitti 90–100 %. Plagioklaasin koostumuksen analysointi vaatii joko taitekertoimen määrittämisen tai kemiallisen analyysin. Väriltään plagioklaasit ovat valkeita, tummasta vaaleanharmaista, joskus punertavia. Plagioklaasista lähtevä viiru on väriltään valkoinen tai hyvin vaalea. Plagioklaasilla on kaksi etenevää lohkosuuntaa ja sen kiilto on lasimainen. Kovuudeltaan plagioklaasi on 6–6,5 ja sen ominaispaino on 2,6–2,8 t/m<sup>3</sup>. Plagioklaasilla on pari korukivimuunnosta, kuten spektroliitti ja aventuriinimaasälpä. Plagioklaasin käyttökohteet ovat keramiikka- ja lasiteollisuudessa. (Grönholm ym. 2009, 26.)



KUVA 5. Plagioklaasin lohkopinta (Grönholm ym. 2009, 26.)

### 3.1.3 Kvartsi

Kvartsi on yksi maankuoren yleisimmistä mineraaleista. Sitä esiintyy luonnossa amorfisena, mikrokiteisenä ja karkeakiteisenä. Kvartsilla esiintyy luonnossa useita eri värimuunnoksia, jonka johdosta sitä käytetään laajasti korukivenä. Kvartsin korukiviä ovat esimerkiksi vuorikide, sitriini, ametisti, savukvartsi, ruusukvartsi, jaspis ja opaali. Kvartsilla ei ole ominaista lohkosuuntaa, vaan siihen muodostuu simpukkamainen murros. Kvartsin kiilto on rasvakiiltoa. Kvartsilla pystyy naarmuttamaan lasia. Kvartsin käytetään keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineena sekä valimohiekkana. (Grönholm ym. 2009, 25.)

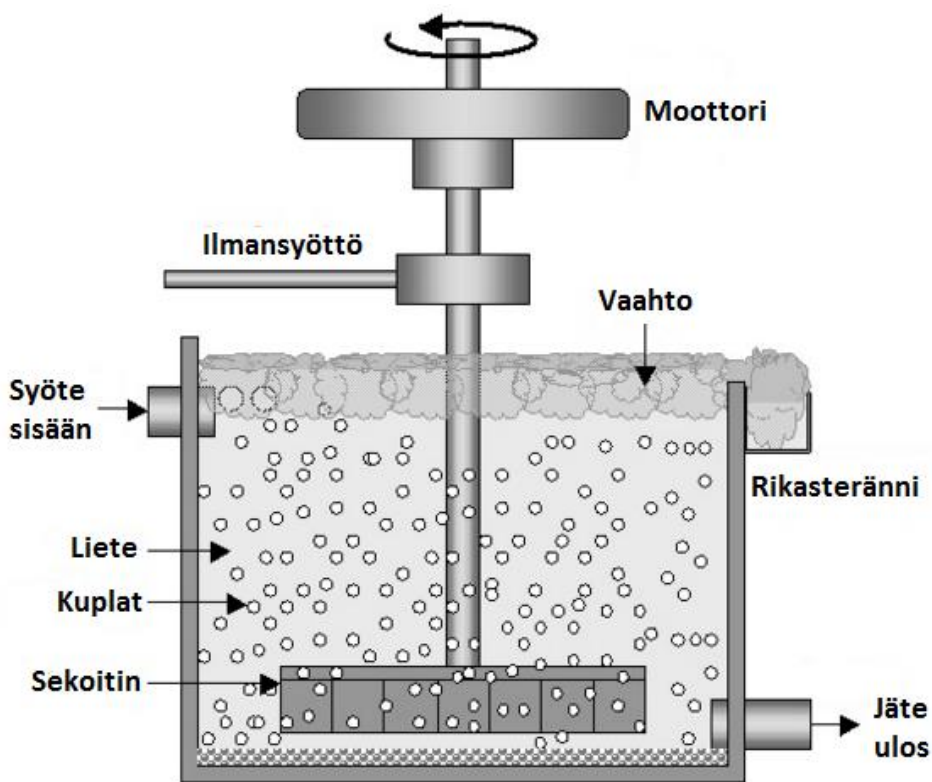


KUVA 6. Kvartsin simpukkamainen murros (Grönholm ym. 2009, 25.)



#### 4 VAAHDOTUS

Vaahdotus on todella yleisesti käytetty rikastusmenetelmä, jolla voidaan erottaa lähes mikä tahansa hienojakoiseksi työstetty, vesilietteessä oleva mineraali muiden mineraalien joukosta. Yksinkertaisesti menetelmässä vedestä ja hienonnetusta mineraalista koostuva vesiliete lisätään vaahdotuskennoon, jossa on jatkuvatoiminen sekoitin. Sekoittimen pohjasta syötetään lietteeseen ilmavirta, joka tuottaa kennoon ilmakuplia, jotka muodostuvat pinnalle vaahdoksi. Halutut mineraalit tarttuvat ilmakuplien pinnalle ja nousevat pintaan. Vaaho kaavitaan kennon pinnalta rikasteena. Kuvassa 7 havainnollistetaan vaahdotuksen toimintaperiaatetta. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 18–19.)



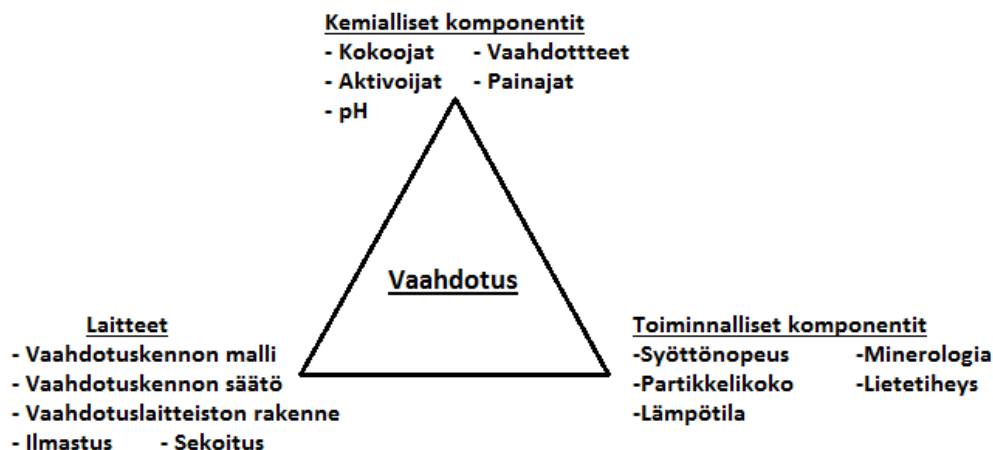
KUVA 7. Vaahdotuksen toimintaperiaate (mukaillen Greval 2016, I. Mineral Processing Introduction)

Se onko mineraalin pinta hydrofobinen vai hydrofiilinen, määrää mitkä mineraalit nousevat vaahdotuksessa pintaan ja mitkä jäävät lietteeseen. Hydrofobiset mineraalit tarttuvat ilmakuplien pintaan ja päätyvät pinnalle vaahtoon, mutta hydrofiiliset jäävät lietteeseen kennon pohjalle. Johtuen mineraalin pinnan sähköisestä varauksesta, veteen joutuessaan mineraali tulee täysin vesimolekyylien peittämäksi. Pinnan positiivisesta tai negatiivisesta sähkövarauksesta riippuen varaus vetää vesimolekyyliä  $H^+$ -ionin tai  $O^-$ -ionin välityksellä. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 18–19.)

Vaahdotusta edesauttamaan käytetään myös vaahdotuskemikaaleja, eli vaahdotusreagensseja. Vaahdotusreagenssit voidaan jakaa kolmeen luokkaan: kokoojat, vaahdotteet ja säännöstelijät. Kokoojakemikaalin avulla mineraalin pinta voidaan muuttaa hydrofiilisesta hydrofobiseksi. Vaahdotteilla vähennetään veden pintajännitystä, jonka ansiosta kuplista tulee kestävämpiä. Säännöstelijöillä ohjataan vaahdotuksen selektiivisyyttä. Kemikaalit voivat joko estää kokoojaa tarttumasta halutun mineraalin pinnalle tai helpottaa sitä. Säännöstelijöistä käytetäänkin kahta eri nimitystä, aktivoijat ja painajat. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 18–19.)

Vaahdotuksessa on kolme eri faasia: kiinteä, nestemäinen, kaasumainen. Kiinteä faasi on mineraali rakeita. Nestefaasi on yleensä poikkeuksetta vettä. Kaasufaasi on kaasuseos, joka on usein vain ilmaa. Vaahdotusprosessi perustuu näiden kolmen faasin rajapinnoilla tapahtuviin ilmiöihin. Kokoojakemikaalin vaikutus tapahtuu kiinteän ja nestefaasin välillä. Vaahdote laskee pintajännitystä neste- ja kaasufaasin välillä. Mineraalirakeet tarttuvat kuplien pintaan kaasu- ja kiinteänfaasin rajapinnassa. Näiden kolmen rajapinnan tapahtumat ovat vaahdotuksen tärkeimmät muuttujat. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 29.)

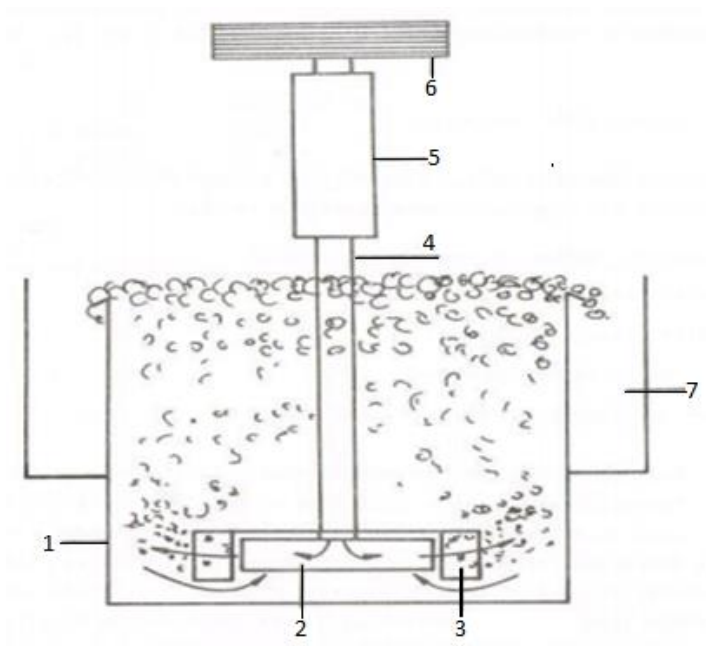
Vaahdotusta on prosessina vaikea hallita, sillä useat eri komponentit vaikuttavat toisiinsa. Vaahdotuksen komponentit jaetaan kolmeen eri osaan, jotka ovat toiminnalliset- ja kemialliset komponentit ja laitteet. Komponenttien vaikutusta toisiinsa on esitetty kuvassa 8. Toiminnallisia komponentteja ovat syöttönopeus, lietetiheys, partikkelikoko, minerologia sekä lämpötila. Kemiaallisiin komponentteihin luetaan kokoojat, vaahdotteet, aktivoijat, painajat ja lietteen pH. Laitteet kategoriassa ovat vaahdotuskennon säätö ja malli, sekoitus, ilmastus ja vaahdotuspiirin rakenne. (Kawatra 2011, 1517.)



KUVA 8. Vaahdotuksen komponenttien vaikutus toisiinsa (mukaillen Kawatra 2011, 1518.)

#### 4.1 Vaahdotuskone

Vaahdotuskone koostuu yleisrakenteeltaan kennoaltaasta, tuki- ja kannatusrakenteista, koneen mekanismista sekä sen käyttölaitteesta, ilman syöttölaitteesta, lietteen syöttö- ja poistolaitteesta, lietepinnan säätölaitteesta ja rikasterännistä. Yleisrakennetta on esitetty kuvassa 9. Vaahdotuskoneen täytyy pitää mineraalirakeet suspensiona vesiliitteessä, tuottaa kuplien ja rakeiden väliset törmäykset, dispergoida riittävästi hienojakoista ilmaa lietteeseen, ylläpitää rauhalliset olosuhteet vaahtokerroksen syntymäpaikalla sekä antaa mahdollisuus rikasteen ja jätteen poistolle. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 96–97.)



KUVA 9. Vaahdotuskoneen yleisrakenne. 1. Allas, 2. Potkuri eli roottori, 3. Staattori, 4. Akseli, 5. Laakerit, 6. Hihnapyörä, 7. Rikasteränni (mukaillen Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 99.)

Vaahdotuskoneen allas valmistetaan teräslevystä, joka voidaan korroosion estämiseksi vuorata muovilla tai kumilla. Käyttökoneiston kannatustelineenä käytetään usein kotelopalkkeja. Kotelopalkkeja pitkin toimii usein myös koneen ilmansyöttö. Rikasterännit valmistetaan teräksestä, mutta myös joskus kumista tai muovista kulumisen sekä painon vähentämiseksi. Rikasterännin kaltevuudeksi suositellaan vähintään 30 astetta, jotta painavimmat mineraalirakeet eivät painuisi rännin pohjalle. Rikasterännit on syytä valmistaa avariksi, koska se helpottaa puhdistusta. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 96–97.)

Vaahdotuskoneen mekanismiin kuuluu roottori sekä staattori. Roottorin yleisenä kehänopeutena käytetään 4–8 m/s. Suurissa vaahdotuskoneissa tarvitaan oma roottori jokaista akselia kohden, mutta pienemmissä koneissa yksi roottori riittää kahdelle akselille. Koneen voimansiirto tapahtuu yleensä kiilahihnoilla. Varsinkin suuria vaahdotuskoneita mitoittaessa on syytä huomioida moottorin pystyasento, koska se vaikuttaa moottorin laakerointiin. Itseimevissä potkureissa ilma imeytyy ylhäältä koneen akselia ympäröivän suojaputken tai staattorin ylläolevan avaran putken läpi. Pakkosyöttöisissä vaahdotuskoneissa vaahdotusilma pakotetaan ulkopuolisella puhaltimella onton akselin tai suojaputken läpi. Ilmamäärä säädetään kennokohtaisesti, jolloin sitä voidaan käyttää vaahdotuksen säätösuureena. Ilmamäärän säätelyyn käytetään automaattiventtiilejä. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 96–97.)

Vaahdotuskoneet voidaan yleisesti jakaa kahteen ryhmään, pneumaattisiin- ja mekaanisiin koneisiin. Joskus käytetään myöskin nimitystä mekaanis-pneumaattiset koneet. Itse asiassa kaikki mekaaniset koneet ovat pneumaattisia, sillä vaahdotusprosessissa käytetään aina ilmaa. Sillä ei ole merkitystä, imetääkö ilma koneen oman mekanismin avulla vai syötetäänkö ilma ulkopuolisen puhaltimen avulla. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 96–97.)

## 4.2 Vaahdotusreagenssit

Vaahdotusreagenssien osuus vaahdotusprosessille on todella merkittävä. Vaahdotusreagenssien täytyy silti olla hinnaltaan siedettäviä, helposti saatavilla ja ympäristöystävällisiä. Vaahdotusreagensseja kutsutaan myös nimellä vaahdotuskemikaalit ja ne jaetaan kolmeen pääryhmään, jotka ovat kokoojat, vaahdotteet ja säännöstelijät. Kokoojiin kuuluvat anioniset-, kationiset-, amfoteeriset ja ionisoidut kokoojat. Säännöstelijöitä ovat aktivoijat ja painajat, jotka voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia. Säännöstelykemikaaleihin voidaan lukea myös pH:n säätökemikaalit. Sama säännöstelykemikaali voi toimia eri olosuhteista riippuen joko painajana tai aktivoijana. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 48–49.)

### 4.2.1 Kokoojat

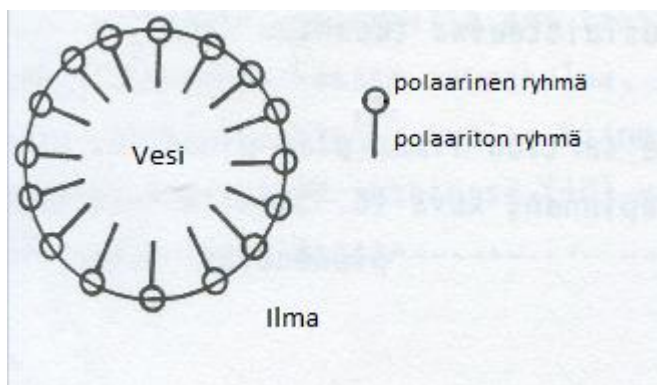
Kokoojat ovat vaahdotuksen tärkein kemikaaliryhmä. Kokoojan tehtävä on muuttaa halutun mineraalin pinta hydrofobiseksi. Hydrofobisen pinnan omaavat mineraalipartikkelit tarttuvat kupliin ja nousevat pinnalle muodostuvaan vaahtoon. Kokoojat lisäävät prosessin selektiivisyyttä huomattavasti. Kokoojat ovat usein heteropolaarisia orgaanisia kemikaaleja, joilla on ionisoituva eli polaarinen pää ja vettä

hylkivä hiilivetypää. Kokooja tarttuu ionivoituvalla polaaraisella päällään mineraalin pintaan. Kokoojat toimivat siis pääasiassa mineraalin ja veden rajapinnalla, mutta joskus myös ilman ja veden välillä. Kokoojan tulee sekoittua ja liueta hyvin veteen. Mittaamalla rikastettavan mineraalin tseta-potentiaalia eri pH-alueilla saadaan suuntaan antavaa tietoa kokoojan valintaan. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 49.)

Kokoojat jaetaan neljään pääryhmään, jotka ovat anioniset-, kationiset-, amforeettiset- ja ionisoitumattomat kokoojat. Anionisen kokoojan tunnistaa yleisesti negatiivisesta polaaraisesta päästä ja alifaattisesta paraffiini hiilivetypäästä. Anioniset kokoojat voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka ovat tiolit ja rasvahapot. Kationisten kokoojen hiilivetypää on kationin puolella. Rakenteensa vuoksi ne soveltuvat mineraaleille joiden pintavaraus on negatiivinen. Kationiset kokoojat ovat yleensä ionisoituvia orgaanisia yhdisteitä. Amfoteerisiksi kokoojiksi lasketaan aineet, jotka voivat reagoida sekä happoina ja emäksinä. Ionisoitumattomiksi kokoojiksi luokitellaan polttoöljy, puuterva- tai kivihiili tislattut hiilivetyöljyt sekä polaaraisista kokoojista erikoiskäsittelyin tuotetut kokoojat. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 49–64.)

#### 4.2.2 Vaahdotteet

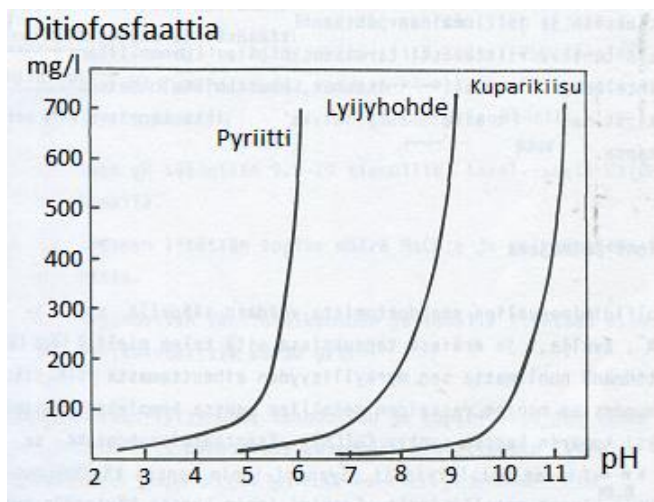
Vaahdotteet ovat heteropolaarisia orgaanisia aineita, joiden tarkoitus on aikaansaada stabiili vaahto. Kuplien täytyy pinta-aktiivisuudeltaan kestää siihen tarttuvat mineraalirakeet. Tuottaakseen oikeanlaista vaahtoa, täytyy vaahdotteen alentaa pintajännitystä. Vaahdon täytyy pysyä koossa rikasteränniin asti, mutta ei pidempään. Vaahdotetta lisättäessä veden pintajännitys laskee lisättävän aineen määrän kasvaessa. Lähestyessä kyllästymispistettä saavutetaan minimipintajännitys. Kuten kuvasta 10 käy ilmi, vaahdotemolekyylit kiinnittyy veden ja ilman välille ionisoitunut pää veteen päin ja hiilivetypää suuntautuneena kuplan sisälle. Termodynaamisessa tasapainossa vaahtomolekyylit ovat jatkuvassa liikkeessä kuplan pinnalla. Vaahdotteen absorptio ja vedenpintajännityksen alentuma ovat toisiinsa verrannollisia. Vaahdotteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat kemialliselta koostumukseltaan alkoholeja, hydroksyloitua polyeettereitä ja alkoksiryhmällä korvattuja paraffiineja. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 49, 65.)



KUVA 10. Vaahdotemolekyylin tarttuminen kuplan pinnalle (mukaillen Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 39.)

#### 4.2.3 pH

Mineraalilietteen oikea pH on yksi tärkeimmistä tekijöistä vaahdotuksen onnistumisen kannalta. Vaahdotuksen pH:n kriittinen piste on se pH, josta ylöspäin mentäessä vaahdotus ei enää onnistu. Vaahdotukselle oikea pH tulee valita mineraali- sekä kokoojakohtaisesti. Useimmat kokoojat toimivat halutulla tavalla vain tietyllä pH-alueella. Kuvasta 11 nähdään, kuinka kriittinen pH vaikuttaa vaahdotukseen. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 70–71.)



KUVA 11. Kriittinen pH Na-dietyyliditiofosfaatti-vaahdotuksessa (mukaillen Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 71.)

Vaahdotuksen pH:n säätäminen tapahtuu nykyisin automaatiolla. Ainoastaan pienissä rikastamoissa saatetaan käyttää pH:n mittaamiseen erillisiä pH-mittareita. pH:n säätelykemikaaleina sulfidimalmeille käytetään yleensä happona rikkihappoa ja emäksenä kalkkia. Muille malmeille voidaan käyttää esimerkiksi suolahappoa ja natriumhydroksidia. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy, 1987, 70–71.)

#### 4.2.4 Säännöstelykemikaalit

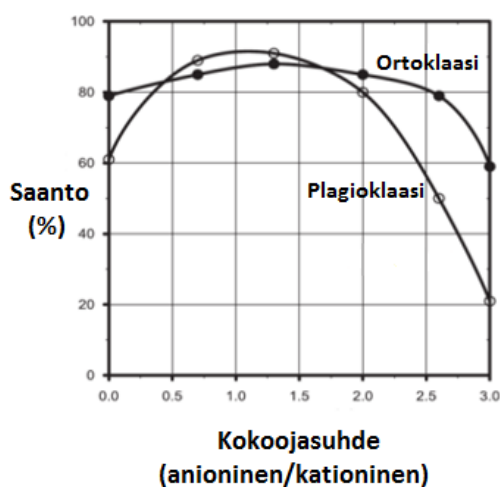
Usein kokooja ja vaahdote eivät riitä tekemään prosessista tarpeeksi selektiivistä. Selektiivisyyttä lisätään säännöstelykemikaalien eli aktivoijien ja painajien avulla. Aktivoija-kemikaaleiksi kutsutaan kemikaaleja, joiden tehtävänä on muuttaa heikosti vaahtoavan tai vaahtoamattoman mineraalin pinta aktiiviseksi kokoojan tarttumiselle. Aktivoijat ovat lähes poikkeuksetta epäorgaanisia aineita. Aineella tulee olla kokoojan polaariseen päähän verrattaessa vastakkainen varaus. Aktivoijia käytetään niin raskaiden metallien rikastuksessa kuin teollisuusmineraalien vaahdotuksessa. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 68–70.)

Painajat ovat aineita, joilla estetään ei-haluttujen mineraalien kiinnittyminen kupliin. Painajana voi toimia pelkästään vaahdotuksen pH, koska tietyt mineraalit eivät vaahdotu kaikilla pH-alueilla. Syanidi-ioni toimii myös painajana. Syanidi-ionit muodostavat useiden raskaiden metallien kanssa kompleksiyhdisteitä. Sulfidi-ionit toimivat yleensä aktivoijina, mutta tarpeeksi emäksisissä olosuhteissa ne toimivat painajina. Kaliumpermanganaatti ja natrium- tai kalium-bikromaatti toimivat vahvoina hapettimina ja hyvin sulfidien painajina. Käytettäessä rasvahappoa kokoojana, bikromaatti toimii hyvin myös baryytin painajana. Natriumsilikaattia käytetään yleensä silikaattien painajana. Orgaaniset painajat jaetaan yleensä neljään eri pääryhmään, jotka ovat anioniset yhdisteet, kationiset aineet, heteropolaariset painajat ja ionisoitumattomat aineet. Anionisia yhdisteitä ovat esimerkiksi tanniinit, tärkkelys ja selluloosajohdannaiset. Kationisia aineita ovat polyakryyliamidit. Heteropolaarisia painajia ovat esimerkiksi proteiinit. Ionisoitumattomiksi aineiksi luetaan esimerkiksi hiilihydraatit. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 68–70.)

### 4.3 Kvartsi-maasälvän vaahdotus

Kvartsi-maasälpä on pegmatiittimalmia, joka koostuu kvartsista ja maasälvästä. Kvartsi ja maasälpä pyritään yleensä rikastamaan erilleen taloudellisista syistä sekä suuren jätekertymän vuoksi. Kvartsi-maasälvän vaahdotuksessa on käytetty pitkään fluorivetyhappoa, jonka tilalle on pyritty löytämään korvaavia kemikaaleja. Fluorivetyhapon käyttöä pyritään vähentämään sen myrkyllisyyden ja vaarallisuuden vuoksi. Keliber Oy oli suunnitellut fluorivetyhappoa käytettäväksi vaahdotuksessaan, mutta sille ei tullut myöntämään ympäristölupaa. Keliber Oy:n täytyy löytää korvaava kokoojareagenssi fluorivetyhapon tilalle. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 152; Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2007.)

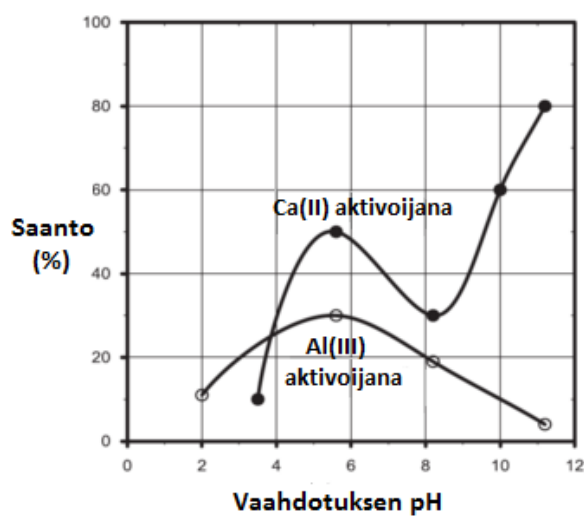
Tutkimuksissa on todettu, että kationisen ja anionisen kokoojan yhdistelmä happamissa olosuhteissa toimii hyvänä kokoojana. Kuten kuvasta 12 nähdään, kationisen ja anionisen kokoojan moolisuhde on suuri tekijä vaahdotuksen onnistumisessa. Moolisuhde vaikuttaa eri tavalla ortoklaasin ja plagioklaasin saantoon. Kuten kuvassa 12 esitetään, paras anionisen ja kationisen kokooja suhde on 1.5:1 ortoklaasille ja 0.5:1 plagioklaasille. Kuvassa 12 käytetyt kokoojat ovat Armac T ja natrium-maaöljysulfonaatti eli SPS. Alkyylitrimetyleenidiamiiniasetaatin ja natrium-maaöljysulfonaatin kokoojayhdistelmä on todettu toimivaksi kokoojaksi. Toinen toimivaksi todettu anionisen ja kationisen kokoojan yhdistelmä on sekoittaa Duomin TD6:ta yhdessä karboksylaattisen anionisen ryhmän kanssa. (Bulatovic 2015, 109–111)



KUVA 12. Anionisen ja kationisen kokoojan suhteen vaikutus vaahdotukseen (mukaiillen Bulatovic 2015, 109.)

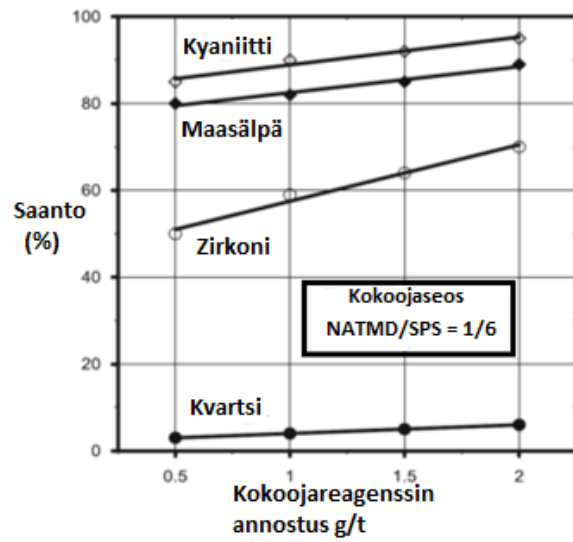


Toinen löydetty metodi fluorivetyhapon korvaavaksi on käyttää kalsium- ja alumiini-ioneita aktivoijina, kun käytössä on sulfonaatti-kokooja. Kuva 13 kertoo aktivoijien vaikutuksen suhteessa pH-arvoon. Kuvan kokeissa käytettiin kokoojana alkyylibentseeni-natriumsulfonaattia. Kuvasta 13 on nähtävissä, kuinka pH:n noustessa kalsiumin aktivoituminen kasvaa selvästi alumiinia enemmän. Tästä voi päätellä, että kationikonsentraation kasvaminen kasvattaa albiitin saantia. (Bulatovic 2015, 109–111)



KUVA 13. pH:n vaikutus albiitin aktivoitumiseen (mukaiillen Bulatovic 2015, 110)

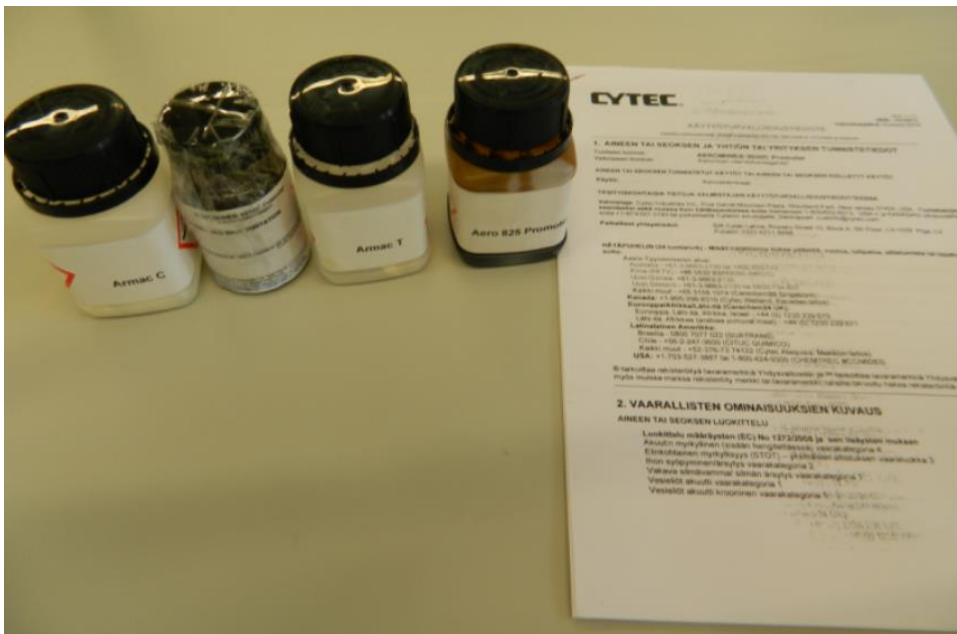
Vuonna 1998 tehtiin kokeita kyaniitin ja maasälvän erottamiseksi kvartsista. Kokeiden tuloksena löydettiin uusi kokoojakemikaali. Kokooja oli seos NATMD eli N-alkylimatyleenidiamiinia ja SPS eli natrium-maaöljysulfonaattia. Kokeissa testattiin eri NATMD- ja SPS-suhdetta sekä eri raaka-aine näytteitä. Parhaimmat tuloksen saatiin kokoojasuhteella 1:6, eli yksi osa NATMD:tä ja kuusi osaa SPS:ää. Kuvasta 14 näkee, kuinka kokoojakemikaalin määrä vaikuttaa kyseisessä kokeessa saantiin. (Bulatovic 2015, 109–111)



KUVA 14. Kokoojaseoksen (NATMD + SPS) määrän vaikutus maasälvän ja kyaniitin erotukseen kvartsista vaahdottamalla (mukaillen Bulatovic 2015, 111.)

## 5 KOESUUNNITELMA

Tämä opinnäytetyö on jatkoa Henri Tikkakosken opinnäytetyölle, jossa selvitettiin toimivia kokoojakemikaaleja kvartsi-maasälvän vaahdotukseen. Työssä testattiin viittä eri kokoojaa ja yhtä kokoojayhdistelmää Keliber Oy:n Syväjärven ja Längän malmeille. Edeltävässä opinnäytetyössä testattavat kokoojat olivat AERO 3030C, Armoflote 64, Armac T, AERO 825, Armac C sekä yhdistelmä AERO 3030C:tä ja AERO 825:tä. Työn saantien perusteella parhaiten kokoojina toimivat Armac T, Armac C sekä AERO 3030C:n ja AERO 825:n yhdistelmä. Tässä opinnäytetyössä testataan kolmea parhaiten toiminutta edellä mainittua kokoojaa. Kokoojakemikaalit hankittiin GTK Mintecin kautta. Edellisessä työssä Syväjärven ja Längän Kasa 3:n malmille teetettiin Centria-ammattikorkeakoulun Chydeniuksen tutkijoilla partikkelikokoanalyysi. Partikkelikokoanalyysistä selvisi, että kumpikaan malmi ei tarvitse erillistä välilajuhatusta ennen vaahdotusta.



KUVA 15. Koevaahdotuksissa käytetyt kokoojakemikaalit

Tämän opinnäytetyön vaahdotuskokeet on jaoteltu kolmeen osaan, jotka ovat kertausvaahdotukset, kokoojakemikaalin annostuksen nosto ja lasku sekä kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testaus. Kertausvaahdotukset tehdään samoissa olosuhteissa kuin edeltävä vaahdotus sekä samoilla kemikaaliannostuksilla. Kertausvaahdotukset suoritetaan edellisen työn vaahdotuskokeiden A4, B4, A6 ja B6 rikasteille. Kirjaintunnus A merkitsee Syväjärven ja B Längän malmiä. Kokeissa A4 ja B4 kokoojakemikaalina toimii Armac T annostuksella 300 g/t. Kokeissa A6 ja B6 käytetään AERO

3030C:n ja AERO 825:n kokoojayhdistelmää. Kokoojakemikaali annostelun nosto- ja laskuosiossa testataan Armac T-kokoojan annoksen nosto 300:sta 500:aan g/t sekä lasku 200:aan g/t. Armac T:tä testataan Syväjärven sekä Längtan malmille. Osiossa testataan vielä Armac C-kokoojan annoksen nostamista kolmestasadasta viiteensataan grammaa tonnia kohden. Armac C:tä testataan vain Syväjärven malmille. Osiossa kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteiden testauksessa kokeillaan yhdisteen AERO 3030C:n ja AERO 825:n eri suhteita. Edeltävissä vaahdotuskokeissa käytettiin annostusta 150/150 g/t. Tulevissa vaahdotuskokeissa tullaan testaamaan annostukset 100/200 g/t ja 200/100 g/t sekä Syväjärven että Längtan malmille.

Vaahdotukset tehdään 1 litran Denver-merkkisellä vaahdotuskennolla. Useimmat muuttujat pidetään vaahdotuksessa vakiona. Vaahdotuksessa käytettävä raaka-aineen määrä tulee olemaan 375 g. pH-arvo säädetään 2,5:een rikkihapolla. Vaahdoteaineena käytetään Aerofloat 211 vaahdotetta, kaksi tippaa vaahdotusta kohden. Valmennusaikana 10 minuuttia. Vaahdon keruu aika sekä sekoittimen pyörimisnopeus pidetään vakioina. Kokoojakemikaali sekä sen annostus ovat vaahdotuksen muuttujat. Vaahdotuskokeita tulee olemaan yhteensä 13, joista 7 Syväjärven malmille ja 6 Längtan malmille. Taulukoissa 1, 2 ja 3 on koesuunnitelmat ja eri kokeiden tunnuksset.

TAULUKKO 1. Koesuunnitelma kertausvaahdotuksille

Kertaus vaahdotukset				
			Valmennus	10min
Vaahdotus kemikaali	Annostus (tippaa)		Rikasteen keruu aika	4min
Aerofloat	2			
	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	pH
A4c				2,5
B4c				2,5
A6c				2,5
B6c				2,5
	Kokooja kemikaali	Kokoojan määrä g/t	Kokoojan määrä kokeessa (g)	
A4c	Armac T	300	0,1125	
B4c	Armac T	300	0,1125	
A6c	Aero 3030c + Aero 825	150 / 150	0,05625 / 0,05625	
B6c	Aero 3030c + Aero 825	150 / 150	0,05625 / 0,05625	
Näytteet	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	
A4c				
B4c				
A6c				
B6c				

TAULUKKO 2. Koesuunnitelma kokoojakemikaali yhdisteen suhteen eri testaukselle

Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus				
			Valmennus	10min
Vaahdotus kemikaali	Annostus (tippaa)		Rikasteen keruu aika	4min
Aerofloat	2			
	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	pH
A6a				2,5
A6b				2,5
B6a				2,5
B6b				2,5
	Kokooja kemikaali	Kokoojan määrä g/t	Kokoojan määrä kokeessa (g)	
A6a	Aero 3030c + Aero 825	100 / 200	0,0375 / 0,075	
A6b	Aero 3030c + Aero 825	200 / 100	0,075 / 0,0375	
B6a	Aero 3030c + Aero 825	100 / 200	0,0375 / 0,075	
B6b	Aero 3030c + Aero 825	200 / 100	0,075 / 0,0375	
Näytteet	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	
A6a				
A6b				
B6a				
B6b				

TAULUKKO 3. Koesuunnitelma kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku kokeisiin

Kokoojakemikaali annoksen nostaminen ja laskeminen				
			Valmennus	10min
Vaahdotus kemikaali	Annostus (tippaa)		Rikasteen keruu aika	4min
Aerofloat	2			
	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	pH
A3				2,5
A4a				2,5
A4b				2,5
B4a				2,5
B4b				2,5
	Kokooja kemikaali	Kokoojan määrä g/t	Kokoojan määrä kokeessa (g)	
A3	Armac C	500	0,1875	
A4a	Armac T	500	0,1875	
A4b	Armac T	200	0,075	
B4a	Armac T	500	0,1875	
B4b	Armac T	200	0,075	
Näytteet	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	
A3				
A4a				
A4b				
B4a				
B4b				

Kokeita varten tarvitaan seuraavat välineet: astiat rikasteelle sekä jätteelle, 26 kappaletta dekantterilaseja tuotteille ja jätteille, automaattipipetti, 39 ilmatiivistä näytepurkkia, imusuodatuspullo, lämpölevy ja pieniä dekantterilaseja kiinteiden kokoojien liuotusta varten. Vaahdotettavaa malmia punnitaan 375 g jokaista vaahdotusta kohti. Malmi punnitaan suljettaviin pusseihin kaikkia vaahdotuksia varten yhdellä kertaa. Käytännössä malmia punnitaan 385g, koska jokaisesta punnituksesta tullaan ottamaan 10 g syötenäyte. Myöskin vaahdotuksesta tulevasta jätteestä ja rikasteesta punnitaan 10 g näytteet. Yhteensä analysoitaviksi lähetettäviä näytteitä kertyy 39.

Kokeiden esivalmistelut sekä rikasteen ja jätteen suodatus suoritetaan Centria-ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Itse koevaahdotukset tehdään Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratoriossa. Armac T, Armac C sekä AERO 825 kemikaalit ovat kiinteässä muodossa, joten ne täytyy liuottaa ionisoituun veteen lämpölevyä hyödyntäen. Armac T:stä ja AERO 825:stä tehdään myös yhdet koeliuokset, joista seurataan saostuuko kokooja ollessaan kaksi vuorokautta huoneen lämmössä. Vaahdotuksen valmennus suoritetaan samassa kennossa kuin vaahdotuskin. Valmennus on 10 minuuttia kestävä vaihe, jolloin sekoitin on käynnissä ja alhaalla, mutta ilmahana kiinni. Ensimmäisenä kennoon lisätään 375 g kvartsi-maasälpä malmia ja lisätään merkkiin asti vettä. Tämän jälkeen sekoitin lasketaan alas vaahdotuskoneen kyljessä olevasta kammesta. Vaahdotuskone käynnistetään ja valmennus alkaa.

Valmennuksessa liete sekoittuu. Valmennuksen aikana on suoritettava pH:n säätäminen sekä kokoojan ja vaahdotteen lisäys. Valmennuksen aikana kennoon asetetaan digitaalinen pH-mittari. Vaahdotuksen pH säädetään 2.5:een 1 molaarisella rikkihapolla. Lietteen pH tullaan pitämään kaikissa vaahdotuskokeissa vakiona. Vaahdotteena käytetään kaksi tippaa Aerofloat 211-vaahdotetta jokaista vaahdotusta kohden. Kokoojan ollessa nestemäinen se annostellaan ja lisätään kennoon automaattipipetillä. Kiinteät kokoojat joudutaan liuottamaan tislattuun veteen etukäteen. Kokoojien liuotuksessa on hyvä käyttää apuna lämpölevyä. Kokoojien määrät suhteutettuna 375 grammaan ovat esitettyinä taulukoissa 1, 2 ja 3. Vaahdotusten aikana tullaan ottamaan kuvia sekä kirjaamaan ylös näköhavainnot vaahdotuksesta. Havaintoja vaahdotuksista ovat vaahdon väri, vaahdon paksuus ja tiheys, kuplien koko sekä rikasteen muodostumisaika.

Valmennuksen päätyttyä aloitetaan vaahdotus ja rikasteen keruu. Ensimmäiseksi rikasteastia asetetaan rikasterännin paikalle, josta rikaste kerätään. pH-mittari otetaan kennosta pois ja ilmahana voidaan avata. Ilmahanan aukaisun jälkeen lietteeseen pääsee ilmakuplia, jotka tuottavat vaahdon. Rikasteen

keruu aika on 4 minuuttia, jos vaahtoaminen ei lopu tai vaahdon väri muuttu kirkkaaksi. Vaahdon muuttuminen kirkkaaksi tarkoittaa, ettei vaahtoon tartu enempää haluttua mineraalia. Rikasteeseen haluttu mineraali tässä vaahdotuksessa on maasälpä. Rikasteen keruun päätyttyä ilmahana suljetaan ja vaahdotuskone sammutetaan. Sekoitin kammetaan ylös ja huuhdellaan. Rikaste ja jäte pestään omiin astioihinsa suodatusta varten.

Suodatus suoritetaan Centria-ammattikorkeakoulun laboratoriossa vetokaapissa imusuodatuslaitteistolla. Imusuodatuslaitteistoon sisältyy imupullo, suodatinpaperi, vesiletku ja Büchner-suppilo. Imupullo kytketään vesiletkulla kiinni vetokaapissa sijaitsevaan vesihanaan, josta laitteisto ottaa imunsa vesipaineesta. Imupaperi leikataan tarkasti suppilon kokoiseksi ja asetetaan sen pohjalle. Rikasteet ja jätteet suodatetaan yksi kerrallaan. Suodatuksessa neste imeytyy kirkkaana pulloon ja kiintoaine jää imupaperin päälle kakuksi. Suodatus tulee suorittaa tarkasti, jotta nesteeseen ei pääsisi yhtään kiintoainetta. Imupaperi tulee vaihtaa, jos kiintoainetta pääsee yhtään nesteeseen, koska tällöin imupaperi on todennäköisesti rikki tai huonosti paikoillaan. Suodatuksesta saadut kiinteät rikasteet ja jätteet laitetaan imupapereineen valmiiksi punnittuihin dekantterilaseihin. Dekantterilasit siirretään kuivauskaappiin kuivumaan vähintään vuorokaudeksi.

Jätteiden ja rikasteiden kuivuttua ne otetaan pois kuivausuunista jäähtymään. Kuivatut rikaste ja jäte punnitaan ja punnituksesta vähennetään valmiiksi punnitun dekantterilasin massa. Näistä punnituksista voidaan jo laskea kokeiden hukkaprosentti ja rikaste-jätesuhde. Kuivattujen tuotteiden punnitusten yhteydessä otetaan rikasteesta sekä näytteestä 10 gramman näyte analyysia varten. Keliber Oy:n toimitusjohtaja Olle Sirén on tilannut Kuopiolaiselta Labtium Oy:ltä analyysit tämän opinnäytetyön vaahdotusten tuloksia varten. Kaikki syöte, rikaste ja jäte näytteet pakataan ilmatiiviisiin purkkeihin pahvilaatikkoon ja lähetään Kuopioon analysoitavaksi.

## 6 KOKEIDEN SUORITUS

Opinnäytetyön vaahdotukset suoritettiin kolmessa eri kategoriassa, jotka olivat kertausvaahdotukset, kokoojakemikaaliannoksen nosto- ja laskuosio sekä kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testaus. Työosuus aloitettiin 8.4.2016 kertausvaahdotusosiolla. Kertausvaahdotukset saatiin suoritettua kahdella työkerralla. 12.4.2016 aloitettiin kemikaaliannoksen nosto- ja laskuosio. Kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testaukset tehtiin 13.4.2016. Näytteet saatiin lähetettyä Kuopioon Labtium Oy:lle analysoitavaksi 15.4.2016, josta tulokset saatiin 22.4.2016. Itse vaahdotukset suoritettiin Keski-Pohjamaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratoriossa ja loput työstä Centria-ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Vaahdotukset sujuivat melkein täydellisesti suunnitelman mukaan. Ainoa poikkeus suunnitelmasta oli Läntän eli Kasa 3 malmin loppuminen. Viimeinen vaahdotus kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testauksessa, oli syötteen massalta noin 20 % vajaa, mutta veden- ja kokoojan määrä suhteutettiin syötteen massaan. Kaikki vaahdosivat eli niistä saatiin tulokset.

### 6.1 Kokeiden esivalmistelut

Kokeiden esivalmistelut aloitettiin raaka-aineen punnituksesta. Raaka-ainetta oli kahdessa säkissä, jotka oli saatu Keliber Oy:ltä jo tätä työtä edeltävään opinnäytetyöhön. Keliber Oy:n malmin toimitti koululle GTK. Ennen malmin punnitsemista merkittiin suljettaviin muovipusseihin jokaisen vaahdotuskokeen tunnus. Tässä opinnäytetyössä käytetään samoja kirjaintunnuksia kuin edeltävässä työssä, mutta useimpiin tunnuksiin on lisätty yksi kirjain alatunnukseksi. Syväjärven malmi merkittiin kirjaimella A ja Läntän Kasa 3 malmia kirjaimella B. Kokoojakemikaaliyhdisteen suhteen testaukseen sekä kokoojakemikaali annoksen nosto- ja laskuosioon malmit punnittiin Keliber Oy:ltä saaduista säkeistä. Kertausvaahdotuksen malmi punnittiin edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeiden rikasteista. Punnitukset suoritettiin Centria-ammattikorkeakoulun prosessilaboratorion vaa'alla. Punnituksissa punnittiin jokaista raaka-aine syötettä 385 grammaa jokaista vaahdotusta kohden. Jokaisesta punnituksesta otettiin 10 gramman näyte analyysijä varten. Keliber Oy:ltä saaduista säkeistä punnittiin yhteensä Syväjärven malmia 5 syöteannosta ja Läntän malmia 4 syöteannosta. Edeltävän opinnäytetyön rikastenäytteistä punnittiin 2 kappaletta Syväjärven malmia ja 2 kappaletta Läntän malmia. Punnituksia tuli yhteensä 13 kappaletta, joista 7 Syväjärven malmia ja 6 Läntän malmia.





KUVA 16. Vaahdotuskokeita varten punnitut raaka-aineet

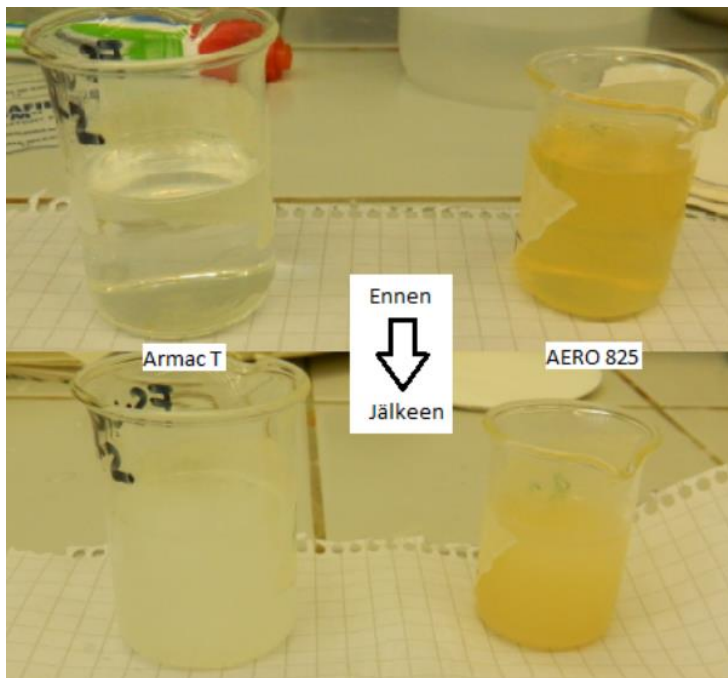
### 6.1.1 Tarvittavat työvälineet

Suurin osa tarvittavista työvälineistä otettiin Centria-ammattikorkeakoululta Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratorioon. Centria-ammattikorkeakoululta mukaan otettavia tarvikkeita olivat kokoojakemikaalit, automaattipipetti, muoviset astiat rikasteelle ja jätteelle, 375 grammaa syötteenä käytettävää malmia, suojaruuvit ja muistiinpanovälineet. Digitaalinen pH-mittari sekä pH:n säätämiseen käytettävä rikkihappo ja kalkki löytyivät Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratoriosta valmiina. Tarvikkeita varten otettiin muovinen kori kuljetusta varten, koska matka laboratorioiden välillä kuljettiin jalan.

### 6.1.2 Kokoojareagenssien valmistelu

Kokoojareagensseja oli testattavana kahta kokoojaa yksittäin, sekä yksi kokoojakemikaaliyhdistelmä. Armac T:tä ja Armac C:tä testattiin yksittäin. Kokoojakemikaaliyhdisteenä testattiin AERO 3030C:n ja AERO 825:n yhdistelmää. Näistä neljästä kokoojakemikaalista ainoastaan AERO 3030C oli nestemäisessä muodossa ja loput kiinteitä. Nestemäisen kokoojakemikaalin pystyi lisätä suoraan vaahdotuskennoon automaattipipetillä. Kiinteät kokoojakemikaalit jouduttiin liuottamaan ionivaihdettuun veteen ennen vaahdotuksia. Kiinteä kemikaali punnittiin pieneen dekanterilasiin ja

täytettiin ionivaihdetulla vedellä. Liuosta oli syytä lämmittää lämpölevyllä ja sekoitella lasisauvalla, jotta kokoojakemikaali liukenisi nopeammin. Armac T:stä ja AERO 825:stä tehtiin ylimääräiset liuokset. Ylimääräisistä liuoksista seurattiin saostuvatko kokoojakemikaalit huoneen lämmössä. Huomattiin, että liuokset samentuvat parissa päivässä, mutta eivät varsinaisesti saostu. Kuvassa 17 näkyy millainen muutos kokoojakemikaalissa tapahtui kahden vuorokauden kuluessa.



KUVA 17. Kokoojakemikaalien saostuminen kahdessa vuorokaudessa

Kertausvaahdotuksia varten valmisteltiin kaksi Armac T-, kaksi AERO 3030C- ja kaksi AERO 825 kokoojakemikaali-liuosta. Tässä opinnäytetyössä AERO 3030C:tä ja AERO 825:tä käytettiin aina yhdisteenä. AERO 825 tehtiin erillisinä liuoksina ja AERO 3030C mitattiin automaattipipetillä suoraan vaahdotuskennoon. Armac T:n annostuksena käytettiin 300 g/t ja kokoojakemikaali yhdisteen annostuksena 150/150 g/t. Kertausvaahdotuksissa Armac T-liuokseen punnittiin kokoojaa 0.1125 grammaa. AERO 3030C ja AERO 825 kokooja yhdisteeseen tarvittiin 0.05625 grammaa molempia jokaista vaahdotuskoetta kohden.



KUVA 18. AERO 825 kokoojakemikaalin liuotus

Kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testausta varten täytyi valmistella neljä AERO 3030C:n ja AERO 825 kokoojakemikaaliyhdistelmää. Yhdisteiden suhteina käytettiin 100/200 g/t sekä 200/100 g/t. Suhteutettuna syötteen määrään 100/200 g/t annostuksella kokoojaa AERO 3030C:tä 0.0375 grammaa ja kokoojaa AERO 825:tä 0.075 grammaa. Kokoojakemikaaliyhdisteen suhteiden testauksen viimeisen vaahdotuksen syöte oli 25 %, joten kokoojakemikaalit suhteutettiin 25 % pienemmiksi.

Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskukokeita varten valmisteltiin 4 kappaletta Armac T-liuoksia ja yksi Armac C-liuos. Armac T kokoojakemikaali-liuoksista kaksi valmistettiin suhteella 500 g/t ja kaksi annoksella 200 g/t. Armac C kokoojakemikaalin annostuksena käytettiin 500 g/t. Syötteen määrään suhteutettuna kokoojakemikaalia punnittiin annostuksella 500 g/t 0.1875 grammaa, ja annostuksella 200 g/t punnittiin 0.075 grammaa.



KUVA 19. Armac T kokoojakemikaalin liuotus

## 6.2 Koevaahdotukset

Koevaahdotukset suoritettiin Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen 1 litran Denver-vaahdotuskennolla. Kuvassa 20 on näissä koevaahdotuksissa käytetty vaahdotuskenno. Koevaahdotuksia suoritettiin yhteensä 13 kappaletta. Vaahdotuskokeet sujuivat koesuunnitelman mukaisesti. Kaikkien vaahdotuskokeiden pH, vaahdotusaineen määrä, vaahdotuskoneen säädöt, valmennus- ja keruu aika pidettiin vakiona. Vaahdotusaineen Aerofloat 211:n annostus oli 2 tippaa, pH oli 2.5, valmennus aika 10 minuuttia ja vaahdon keruu aika 4 minuuttia. Tässä osiossa käydään kaikki vaahdotuskokeet läpi kolmessa osiossa, jotka ovat kertaustaahdotukset, kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku sekä kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testaus. Vaahdotuskokeiden aikana otettiin kuvia ja kirjattiin muistiinpanoja vaahdon väristä, todellisesta keruuajasta ja rakenteesta.



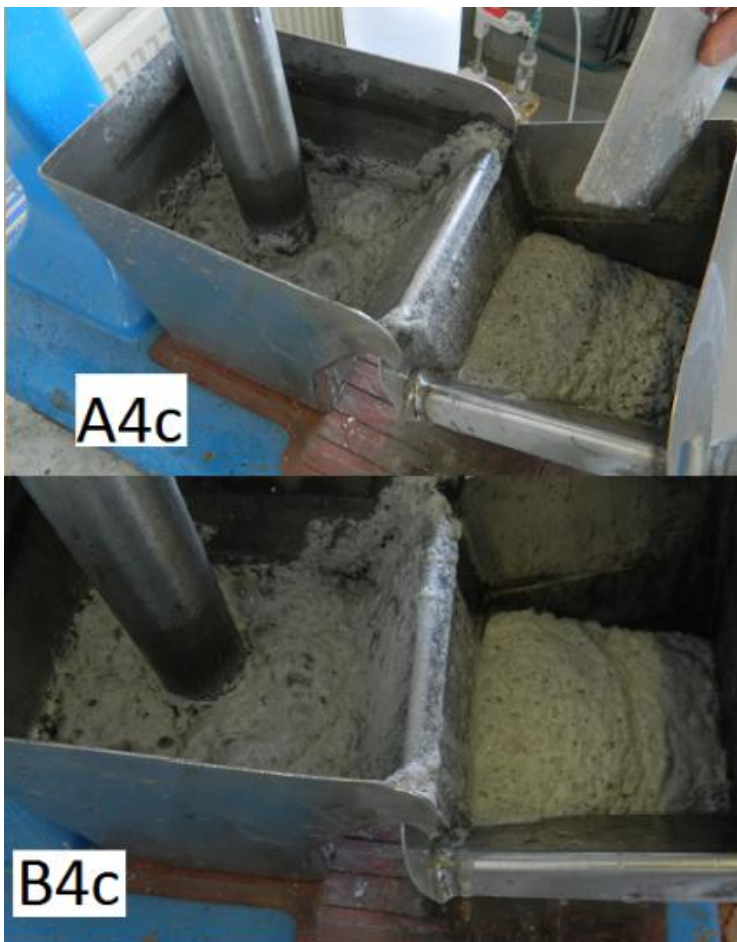
KUVA 20. Denver-vaahdotuskone

### 6.2.1 Kertausvaahdotukset

Kertausvaahdotukset tehtiin edeltävän opinnäytetyön parhaiten menneistä vaahdotuskokeille. Vaahdotuskokeiden syötteet punnittiin edeltävän työn rikasteista. Kokoojat ja niiden määrä pidettiin samanlaisina kuin edeltävissä kokeissa. Olosuhteita ei muutettu edeltävästä työstä tähän työhön. Ainoa ero töissä on käytettävän vaahdotuskoneen koko, joka on puolet pienempi. Kaikki määrät suhteutettiin koneiden kokoon.

Ensimmäisissä kertausvaahdotuksissa A4c ja B4c käytettiin kokoojakemikaalina Armac T:tä annostuksella 300 g/t. Vaahdoteainetta Aerofloat 211:tä käytettiin 2 tippaa ja pH-arvona pidettiin 2.5. Vaahdotuksen valmennusaika oli 10 minuuttia, jonka aikana lisättiin kokooja ja vaahdotteet sekä

säädettiin pH. Valmennuksen alussa kennoon asetettiin digitaalinen pH-mittari, joka poistettiin kennosta valmennuksen loputtua. Lietteen pH säädettiin kohdalleen yksi molaarisella rikkihapolla. Valmennuksen jälkeen avattiin ilmahana ja aloitettiin 4 minuutin vaahdon keruu aika. Liete vaahtosii, ja vaahdotuksesta saatiin sekä rikastetta ja jätettä. Kuvasta 21 näkee syntyneitä rikasteita. Tarkemmat muistiinpanot vaahdotuksista esitetään taulukossa 4.



KUVA 21. Kertausvaahdotukset A4c ja B4c

Toisissa kertausvaahdotuksissa A6c ja B6c testattiin kokoojakemikaalien Aero 3030C:n ja Aero 825:n yhdistelmää. Kokoojakemikaaliyhdisteen annostuksena käytettiin molempia kokoojia 150 grammaa tonnia kohti. Kaikki muuttujat pidettiin vakioina näissäkin kokeissa, ja pH-arvona pidettiin 2.5. Vaahdoteaineen annos oli 2 tippaa. Lietteen valmennus aika oli 10 minuuttia ja vaahdon keruu aika 4 minuuttia. Raaka-aine vaahdottui ja kokeesta saatiin sekä rikastetta että jätettä. Kuva 22 on otos kertausvaahdotuksista A6c ja B6c. Tarkemmat muistiinpanot vaahdon väristä, koostumuksesta sekä todellisesta vaahtoamisajasta näkyvät taulukossa 4.





KUVA 22. Kertausvaahdotukset A6c ja B6c

TAULUKKO 4. Kertausvaahdotusten havainnot

Koe tunnus	Vaahtoamis aika (min)	Vaahdon väri	Vaahdon koostumus	Kuplien koko
A4c	3	Harmaata, kimaltelevaa	Moussemaista, jäykkää	Pieniä / keskikokoisia
B4c	3,5	Vaaleaa / vaalean harmaata	Kermavaahtomaista	Pieniä
A6c	3,5	Harmaata	Tiheää, moussemaista	Pieniä
B6c	3	Vaalean harmaata	Jäykkää, tiheää moussea	Pieniä

### 6.2.2 Kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku

Tämän osion koevaahdotuksissa testattiin Armac C- ja Armac T-kokoojakemikaalia eri annostuksella kuin edeltävässä opinnäytetyössä. Edeltävässä opinnäytetyössä kokoojan annostuksena käytettiin aina 300 grammaa tonnia kohden. Tässä osiossa testattiin Armac C:lle annostusta 500 grammaa tonnia kohden ja Armac T:tä annostuksilla 200 g/t ja 500 g/t. Vaahdotuskokeissa käytettiin syötteenä vaahdottamatonta Keliber Oy:ltä saatua malmia.

Osion ensimmäisessä vaahdotuskokeessa A3 testattiin Armac C kokoojakemikaalin annostusta 500 grammaa tonnia kohden. Kaikki muut arvot pidettiin vakioina, kuten pH 2.5:ssä, vaahdotteen annostus kahdessa tipassa, valmennusaika 10 minuuttia ja vaahdon keruu aika 4 minuuttia. Liete vaahtosi todella nopeasti ja kuplat olivat isoja, kuten kuvasta 23 näkee. Muita näköhavaintoja vaahdotuksesta on taulukossa 5.



KUVA 23. Koevaahdotus A3

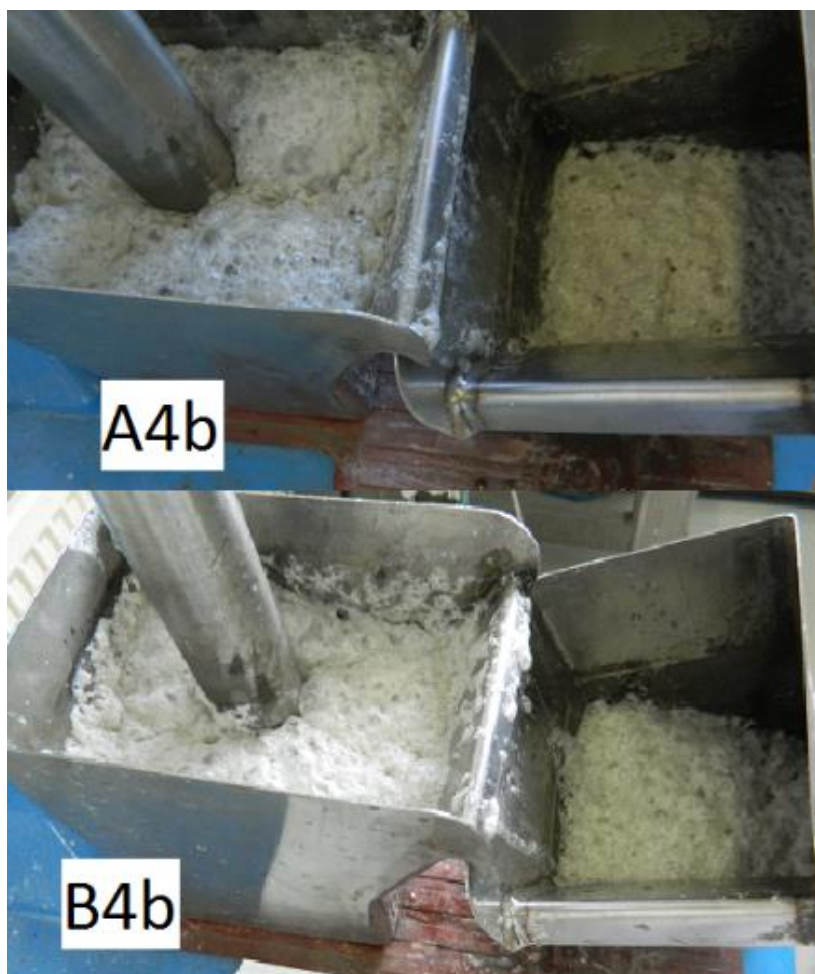
Seuraavaksi suoritettiin koevaahdotukset A4a ja B4a. Koevaahdotusten kokoojana käytettiin kokoojaa Armac T annostukseltaan 500 grammaa tonnia kohden. Vaahdotuksen pH pidettiin 2.5:ssä ja vaahdotusaineen annostus kahdessa tipassa. Vaahdotuksen valmennusaika oli 10 minuuttia ja vaahdon keruu aika 4 minuuttia. Vaahdotuskokeen liete vaahtosi todella voimakkaasti ja vaahto oli paksua. Vaahdon ulkomuotoa näkyy kuvassa 24. Muita vaahdotusten huomioita on kirjattu taulukkoon 5.





KUVA 24. Koevaahdotukset A4a ja B4a

Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion kaksi viimeistä vaahdotuskoetta olivat A4b ja B4b. Näiden vaahdotusten kokoojana käytettiin Armac T kokoojakemikaalia, jonka annostus oli 200 grammaa tonnia kohden. Vaahdotuskokeen loput muuttujat pidettiin vakioina kuten edellisissä kokeissa. Vaahdotetta käytettiin kaksi tippaa, ja pH-arvona oli 2.5. Valmennusaika oli 10 minuuttia ja vaahdon keruu aika 4 minuuttia. Lieke vaahdotus suhteellisen nopeasti ja vaahdotus oli vaalean harmaata. B4b-vaahdotuskokeessa rikastetta tuntui tulevan vähemmän kuin muissa vaahdotuksissa. Muita näköhavaintoja on kirjattu taulukkoon 5. Vaahdon väriä näkee kuvasta 25.



KUVA 25. Koevaahdotukset A4b ja B4b

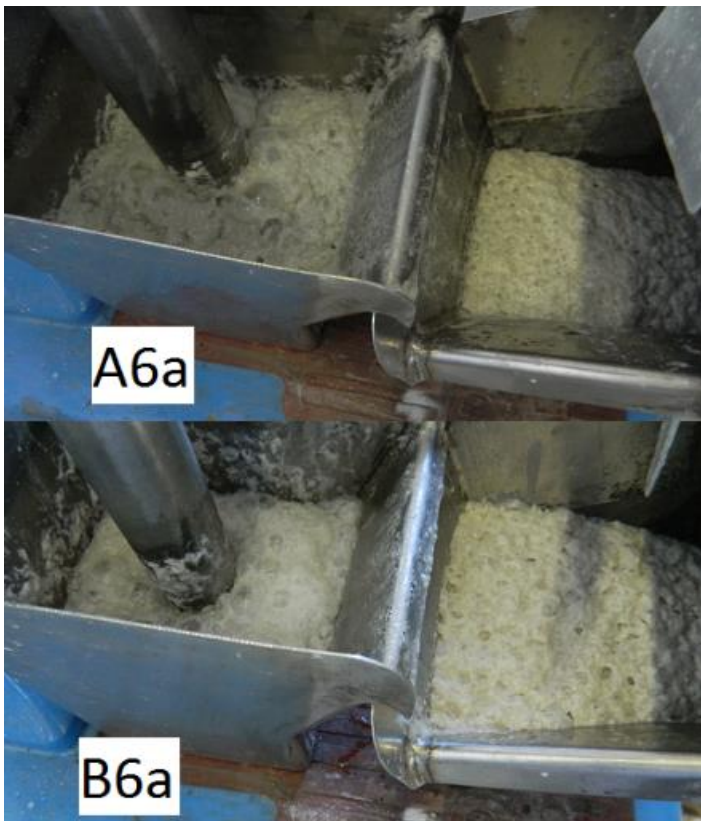
TAULUKKO 5. Muistiinpanot kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja lasku vaahdotuskokeista

Koe tunnus	Vaahtoamis aika (min)	Vaahdon väri	Vaahdon koostumus	Kuplien koko
A3	1,5 (vaahtosi nopeasti ja paljon)	Harmaata vähän kimaltelee	Raskas, ilmava / kuohkea	Isoja
A4a	2,5 (paljon vaahtoa)	Vaalean harmaata	Tiheää / jäykkää	Keskikokoisia / isoja
A4b		2 Vaaleaa	Ilmavaa, kuohkeaa	Isoja
B4a		1,5 Vaalean harmaata	Tiheää ja paksua	Keskikokoisia / isoja
B4b		1,5 Vaalean harmaata	Ilmavaa, kuohkeaa, kuohkeaa	Keskikokoisia

### 6.2.3 Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus

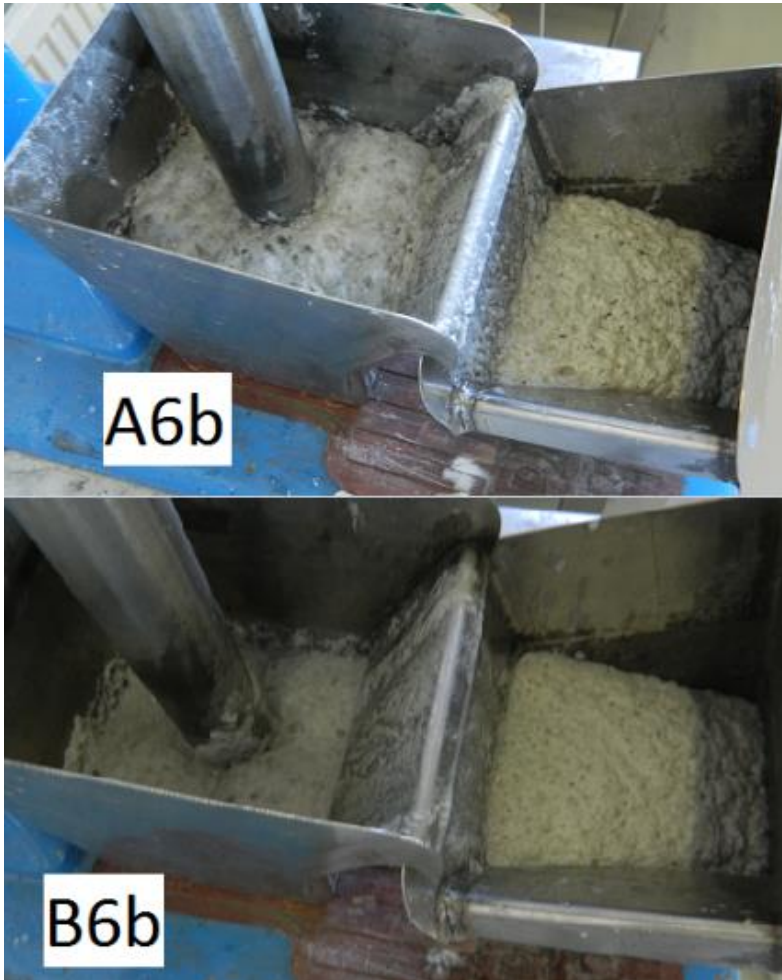
Tässä koevaahdotus osiossa testattiin AERO 3030C- ja AERO 825 kokoojakemikaalin yhdistelmää eri suhteilla. Edeltävässä opinnäytetyössä testattiin annostusta 300 g/t kokoojien suhteella 150/150 g/t. Tämän opinnäytetyön vaahdotuskokeissa testattiin yhdistettä samalla annostuksella 300 g/t, mutta suhteilla 100/200 g/t ja 200/100 g/t. Koevaahdotuksissa käytettiin syötteenä vaahdottamatonta Keliber Oy:ltä saatua malmia. Tässä osiossa koevaahdotuksia tehtiin neljä kappaletta.

Kokoojakemikaalin yhdistelmän eri suhdetta testattiin ensimmäiseksi vaahdotuskokeissa A6a ja B6b. Yhdistelmän suhteena käytettiin 100/200 g/t. Kyseisellä suhteella AERO 3030C:tä laitettiin 100 g/t ja AERO 825:tä 200 g/t. Vaahdotuksen muut muuttujat pidettiin vakiona. Vaahdotetta käytettiin kaksi tippaa ja pH-arvona pidettiin 2.5. Valmennusaika oli 10 minuuttia ja vaahdon keruu-aika 4 minuuttia. Vaahdotus toimi ja vaahtosi loppuun nopeasti. Molemmissa vaahdotuksissa jäi kuitenkin suhteellisen paljon jätettä verrattuna muihin tämän osion vaahdotuskokeisiin. Vaahdon ulkonäköä näkee kuvasta 26. Huomioita ja muistiinpanoja vaahdotuksesta näkee taulukosta 6.



KUVA 26. Koevaahdotusten A6a ja B6a näköhavaintoja

Tämän osion toisissa koevaahdotuksissa A6b ja B6b käytettiin samaa AERO 3030C:n ja AERO 825:n yhdistelmää. Yhdistelmän suhteena käytettiin 200/100 g/t, eli AERO 3030C:tä 200 g/t ja AERO 825:tä 100 g/t. Vaahdotukset tehtiin samoissa olosuhteissa kuin edeltävätkin kokeet. Vaahdotetta käytettiin 2 tippaa ja pH-arvona pidettiin 2.5. Valmennusaika oli 10 minuuttia ja vaahdon keruu aika 4 minuuttia. Lieke vahtosi melkein koko vaahdon keruuaika. Vaahdon koostumusta ja väriä näkee kuvasta 27. Taulukkoon 6 on kirjattu muita havaintoja vaahdotuksesta.



KUVA 27. Koevaahdotukset A6b ja B6b

TAULUKKO 6. Kokoojakemikaali yhdistelmän eri suhteen testauksen vaahdotusten havainnot

Koe tunnus	Vaahtoamis aika (min)	Vaahdon väri	Vaahdon koostumus	Kuplien koko
A6a	1,45	Harmaata	Tiheää Paksua, mutta ei jäykkää	Pieniä
A6b	3,5	Harmaata	Paksua puuroa	Keskikokoisia
B6a	1	Vaaleaa, kimaltelevaa	Paksua ja raskasta, ilmavaa	Keskikokoisia
B6b	3	Vaalean harmaata	Kevyttä moussea	Pieniä



### 6.3 Imusuodatus ja kuivaus

Koevaahdotuksista otettiin talteen erikseen rikaste ja jäte suodatusta varten. Suodatus suoritettiin Centria-ammattikorkeakoulun laboratoriossa, jossa oli valmiiksi vetokaappiin koottu imusuodatuslaitteisto. Imusuodatuslaitteisto toimi vesipaineella ja se koostui imupullosta, vesiletkusta, Büchner-suppilosta ja Whatman-merkkisestä imupaperista. Imupaperit leikattiin saksilla suppiloon sopivaksi. Käytetty imusuodatuslaitteisto näkyy kuvassa 28. Suodatuksia tehtiin yhteensä 26 kappaletta. Suodatuksista puolet tehtiin rikasteelle ja puolet jätteelle. Suodatuksessa imupullo kytkettiin vesiletkulla vesihanan kylkeen. Vesihanan aukaisun jälkeen imupulloon syntyi paine, joka antoi suppilolle imun. Suodatettavaa lietettä kaadettiin suppiloon, johon imupaperi oli aseteltu. Imupulloa täytyi tyhjentää välissä suodosnesteestä sekä seurata ettei suodosnesteeseen päässyt kiintoainetta. Lietettä kaadettiin suppiloon, kunnes kaikki rikaste tai jäte oli saatu suodatettua. Suodatetut rikasteet lusikoitiin teelusikalla omiin dekanterilaseihinsa. Suodatukset menivät hyvin, sillä suodatinpaperit eivät rikkoutuneet eivätkä päästäneet kiintoainetta läpi kertaakaan.



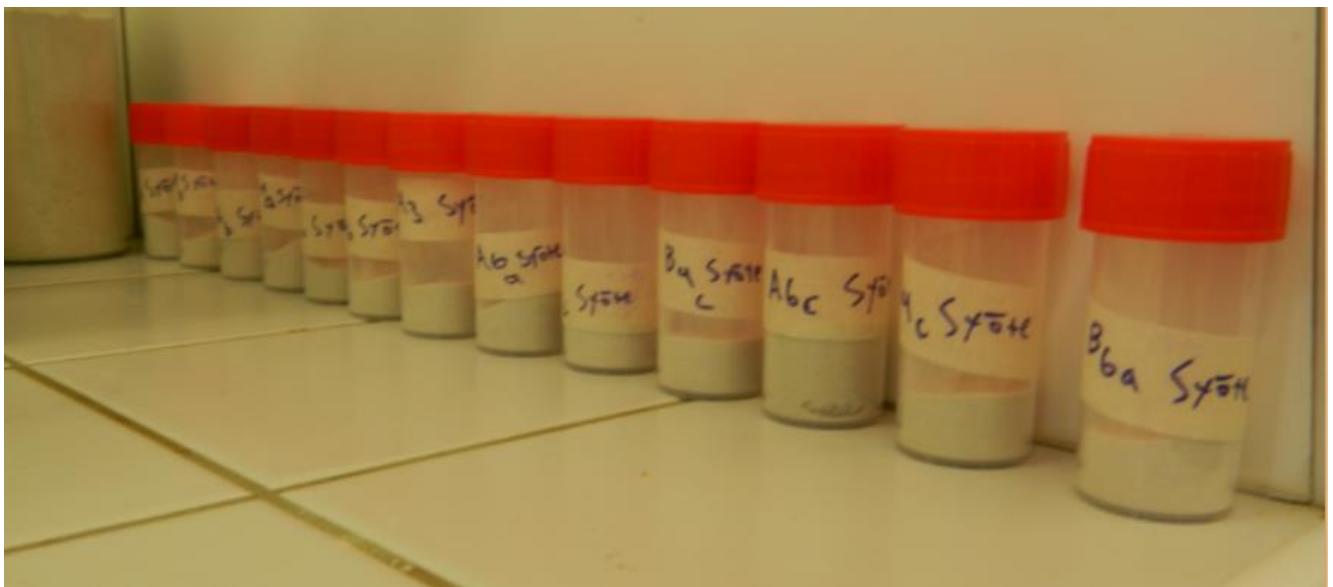
KUVA 28. Työssä käytetty imusuodatuslaitteisto

Suodatuksista saatujen rikasteiden ja jätteiden dekanterilasit olivat etukäteen punnittuja. Täten kuivuneet tuotteet voitaisiin punnita suoraan astioissaan, koska niiden massa oli tiedossa. Suodatetut rikasteet ja jätteet vietiin seuraavaksi kuivamaan laboratoriossa sijaitsevaan kuivausuuniin. Kuivausuunin lämpötila oli noin 90–100 celsiusastetta. Rikasteen ja jätteen annettiin olla uunissa,

kunnes niissä ei näkynyt yhtään kosteutta. Rikastetta sekä jätettä kuivattiin keskimäärin yksi tai kaksi vuorokautta.

#### 6.4 Loppupunnitukset ja näytteenotot analyysijä varten

Kuivauksen jälkeen kaikki kuivumassa olleet rikasteet ja jätteet siirrettiin vetokaappiin jäähtymään. Seuraavaksi kaikki rikasteet ja jätteet punnittiin ja painot kirjattiin ylös. Tuotteita ei tarvinnut siirrellä astiasta toiseen, koska astiana käytetyt dekanterilasit oli punnittu etukäteen. Punnituksista oli helppo vähentää aikaisemmin punnitun dekanterilasin massa vaa'an näyttämästä massasta. Tällöin saatiin suoraan rikasteen ja jätteen massat. Seuraavaksi jokaisesta rikasteesta ja jätteestä otettiin 10 gramman näyte Labtium Oy:n analyysijä varten. Jokaisen näytepurkin kylkeen merkittiin tussilla, mikä näyte on kyseessä. Näytteet pakattiin samanlaisiin ilmatiiviisiin purkkeihin, jollaisiin oli otettu jo aikaisemmin näytteet syötteistä. Kuva 29 on otettu opinnäytetyössä käytetyistä syötepurkeista.



KUVA 29. Näytteet syötteistä

Rikasteet ja jätteet pakattiin dekanterilaseihin ja suojattiin kelmulla siltä varalta, jos niitä tultaisiin tarvitsemaan vielä. Viimeisenä kaikki näytepurkit kerättiin yhteen ja teipattiin kolmen nipuiksi siten, että jokaisessa nipussa oli yhden vaahdotuskokeen syöte, rikaste ja jäte. Näytteitä purkitettiin yhteensä 39 kappaletta. Lopulta kaikki näytteet pakattiin pahvilaatikkoon, joka teipattiin pakkausteipillä kiinni. Paketti lähetettiin Labtium Oy:lle Kuopioon analysoitavaksi 15.4.2016. Labtium Oy:lle laitettiin sähköpostitse liitteet tarvittavat näytetaulukot XRF-analyysijä varten.

## 7 TULOKSET JA POHDINTA

Tässä osiossa käydään läpi ja esitellään tämän opinnäytetyön työosuuden tulokset. Tulokset on analysoitu Labtium Oy:ltä saatujen XRF-mittausten pohjalta. Tulokset saatiin Labtium Oy:ltä taulukoituna, jossa näytteiden mineraalipitoisuudet on ilmoitettu prosentteina. Saanteja laskettaessa taulukosta ei tarkasteltu muuta kuin  $\text{SiO}_2$ -,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -,  $\text{Na}_2\text{O}$ - ja  $\text{K}_2\text{O}$ -pitoisuuksia.  $\text{SiO}_2$  on kvartsi, jonka saantia tarkkaillaan jätteessä.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ja  $\text{K}_2\text{O}$  ovat maasälpä, joiden saantia tarkastellaan rikasteessa. Mitä suurempi saanti kvartsilla on jätteessä ja maasälvillä rikasteessa, sitä paremmin vaahdotus on sujunut. Muiden mineraalien pitoisuudet jätteissä ja rikasteissa olivat niin pieniä, ettei niillä ollut laskennallisesti merkitystä. Kaikki XRF-tulokset ovat nähtävissä liitteessä 2. Tulokset-osio käydään läpi kolmessa osassa, jotka ovat kertausvaahdotukset, kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja lasku sekä kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testaus. Tuloksissa käydään läpi saannot pitoisuuksien sekä massan suhteen, XFR-pitoisuudet, rikaste-jätesuhde, vaahdotusten hukkaprosentit sekä FeO-pitoisuudet.

Vaahdotuskokeiden saannot ja pitoisuudet käsitellään myöhemmissä osioissa tarkemmin, mutta tulokset ovat lyhyesti seuraavat. Kertausvaahdotukset sujuivat kokeista huonoiten. Jätteen ja rikasteen pitoisuuksien erot eivät juurikaan muuttuneet. Ainoa kertausvaahdotus mistä saatiin laskettua saanti oli B4c. Kokoojakemikaalin annosten nosto- ja lasku-vaahdotuskokeista saatiin hyviä tuloksia ja kaikista saatiin laskettua saannit. Pitoisuuksissa ja saanneissa on pieniä eroja kokeiden välillä, mutta kokoojakemikaalin annoksen vaikutuksen huomaa tuloksissa. Kaikki kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja lasku-vaahdotuskokeiden saannit kuvattuna samassa taulukossa ovat nähtävissä kuvassa 47. Kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testauskokeiden tulokset olivat hyvät. Pitoisuuksissa ja saannoissa näkee selvän eron kokoojakemikaaliyhdisteen suhdetta vaihdettaessa. Kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteiden testaus-vaahdotuskokeiden kaikki saannit ovat esitettyinä samassa kuvaajassa kuvassa 57. Liitteessä 1 on näkyvillä kaikkien vaahdotusten lasketut saannit. Tuloksissa on selvästi vaihtelua Längen ja Syväjärven malmien välillä.

## 7.1 Kertausvaahdotukset

Kertausvaahdotukset suoritettiin kahta kokoojakemikaalia käyttäen. Vaahdotuskokeita tehtiin neljä kappaletta, joista kaksi Längtan malmille ja kaksi Syväjärven malmille. Ensimmäisissä kahdessa kertausvaahdotuksessa käytettiin kokoojaa Armac T ja jälkimmäisissä kahdessa kokoojakemikaaliyhdistelmää, joka koostui AERO 3030C:stä ja AERO 825:stä suhteeltaan 150/150 g/t. Kertausvaahdotukset suoritettiin samalla kokooja annostuksella 300 g/t kuin edeltävä opinnäytetyö. Koevaahdotusten syöte otettiin edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeiden rikasteista. Tuloksia tarkastellessa tulikin huomioida että kyseessä oli kertausvaahdotus. Edeltävässä vaahdotuksesta rikasteesta on saatu jo rikastettua kvartsia pois, joten saannit laskivat kertauksissa. Kaikki kertausvaahdotusten saannit ja pitoisuudet ovat taulukoituina liitteessä 1. Taulukossa 7 on koesuunnitelma, johon on täydennetty kertausvaahdotuksista saadut rikasteet ja jätteet sekä niiden näytteet.

TAULUKKO 7. Koesuunnitelma kertausvaahdotuksista täytettynä

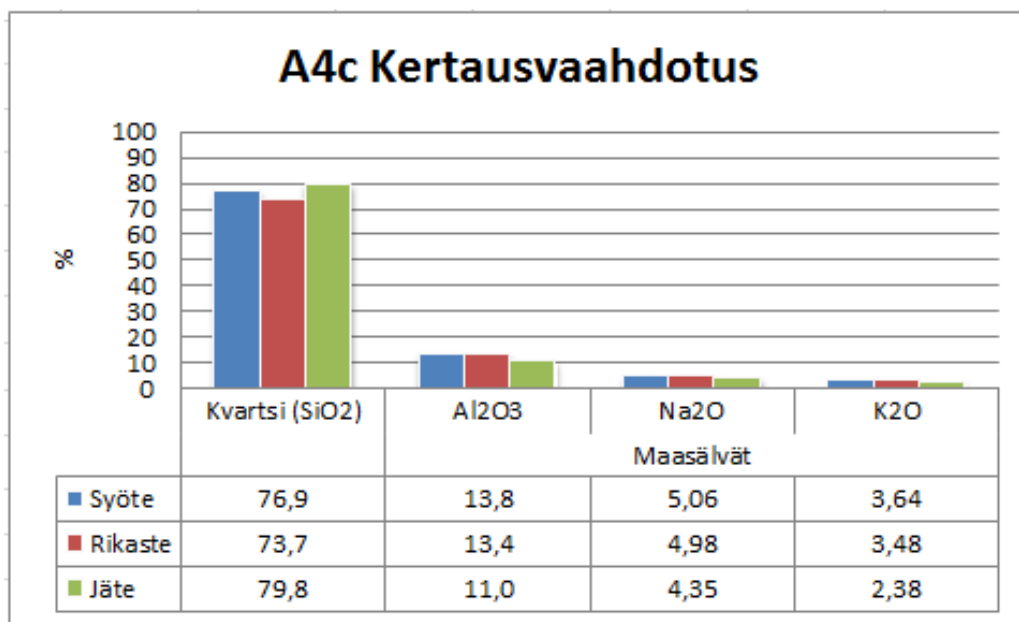
Kertaus vaahdotukset				
			Valmennus	10min
Vaahdotus kemikaali	Annostus (tippaa)		Rikasteen keruu aika	4min
Aerofloat	2		Rikaste todellinen keruu aika (min)	
	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	pH
A4c	375,2	347	23,5	2,5
B4c	375,1	335,3	30,8	2,5
A6c	375,2	338,6	28,8	2,5
B6c	375	348,6	18,8	2,5
	Kokooja kemikaali	Kokoojan määrä g/t	Kokoojan määrä kokeessa (g)	
A4c	Armac T	300	0,1125	
B4c	Armac T	300	0,1125	
A6c	Aero 3030c + Aero 825	150 / 150	0,05625 / 0,05625	
B6c	Aero 3030c + Aero 825	150 / 150	0,05625 / 0,05625	
Näytteet	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	
A4c	10,16	10,03	10,07	
B4c	10,05	10,18	10,06	
A6c	10,08	10,25	10,16	
B6c	10,13	10,07	10,13	



### 7.1.1 Vaahdotuskokeet A4c ja B4c

Ensimmäiset kertausvaahdotukset A4c ja B4c tehtiin Armac T-kokoojakemikaalilla, jonka annostuksena käytettiin 300 g/t. Vaahdotuskokeet toimivat, mutta pitoisuuserot olivat todella pieniä. Vaahdotuskokeiden A4c ja B4c pitoisuudet ovat esitettyinä kuvissa 30 ja 31. Kumpikin vaahdotuskoe tuotti todella pienen määrän jätettä suhteessa rikasteeseen. Jätteen suhde rikasteeseen on nähtävissä kuvasta 59. Vaahdotuskokeiden rikasteen ja jätteen painot ovat esitettyinä taulukossa 7. Pitoisuuseroja tarkasteltaessa huomataan, että Längen malmin vaahdotuksen sujuneen hieman paremmin kuin Syväjärven malmin.

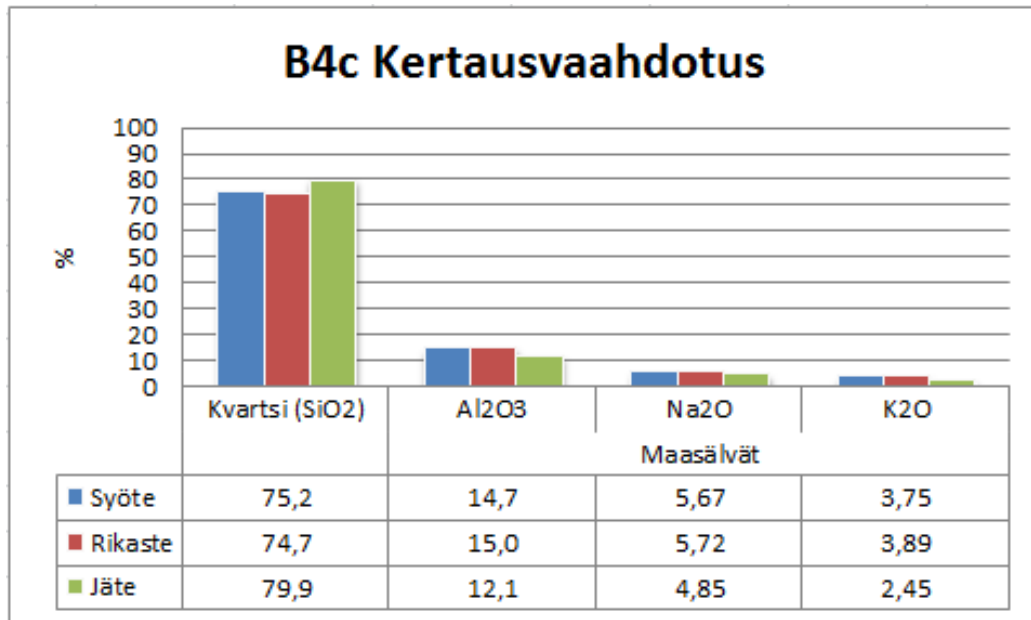
Vaahdotuskokeen A4c pitoisuusero oli niin pieni ettei siitä saatu laskettua saantia. Kokeen A4c-pitoisuuseroista huomaa, että kvartsia on jäänyt hieman enemmän jätteeseen kuin rikasteeseen ja maasälpä enemmän rikasteeseen kuin jätteeseen. Kokeen A4c maasälpäpitoisuudet ovat syötteessä suuremmat kuin rikasteessa ja jätteessä, joten on pääteltävissä, ettei maasälvät vaahdottuneet kunnolla. Vaahdotuskokeen A4c pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 30.



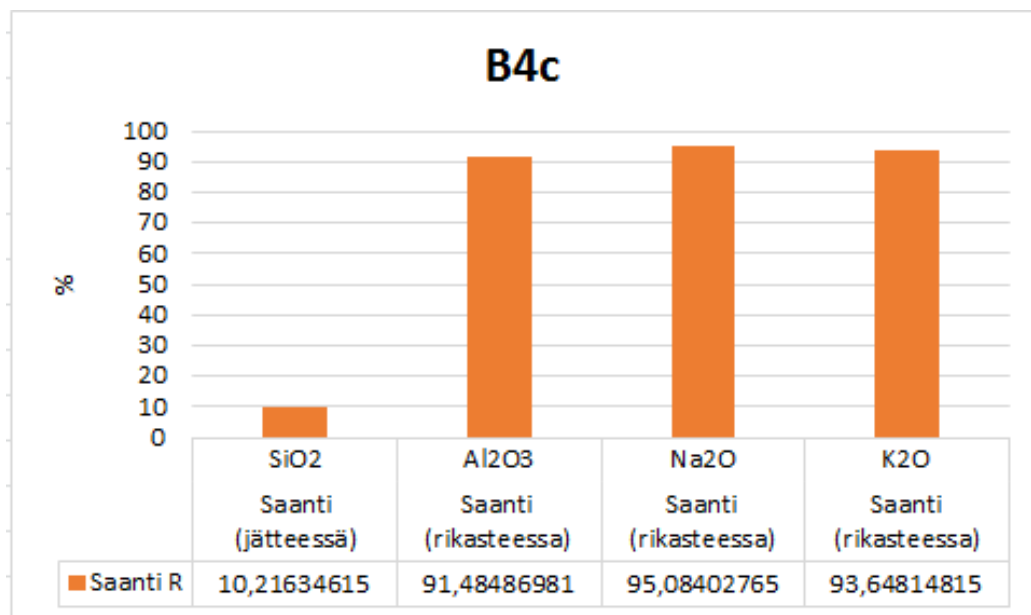
KUVA 30. Kertausvaahdotus A4c pitoisuudet

Vaahdotuskoe B4c meni kertausvaahdotuksista parhaiten, koska kokeelle saatiin laskettua saannit. Pitoisuuseroista huomaa vaahdotuksen toimineen, sillä kvartsin pitoisuus on noussut syötteestä jätteeseen sekä maasälpäpitoisuudet ovat nousseet syötteestä rikasteeseen. Kvartsin pitoisuus on myös suurempi jätteessä kuin rikasteessa ja maasälpäpitoisuudet suurempia rikasteessa kuin

jätteessä. Vaahdotuskokeen pitoisuuserot olivat silti todella pieniä. Vaahdotuskokeen B4c pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 31. Koevaahdotuksen B4c saanti oli maasälpien osalta todella korkea, mutta kvartsin saanti jäi pieneksi. Kertausvaahdotuksen B4c saannit on esitetty kuvassa 32.



KUVA 31. Kertausvaahdotuksen B4c pitoisuudet

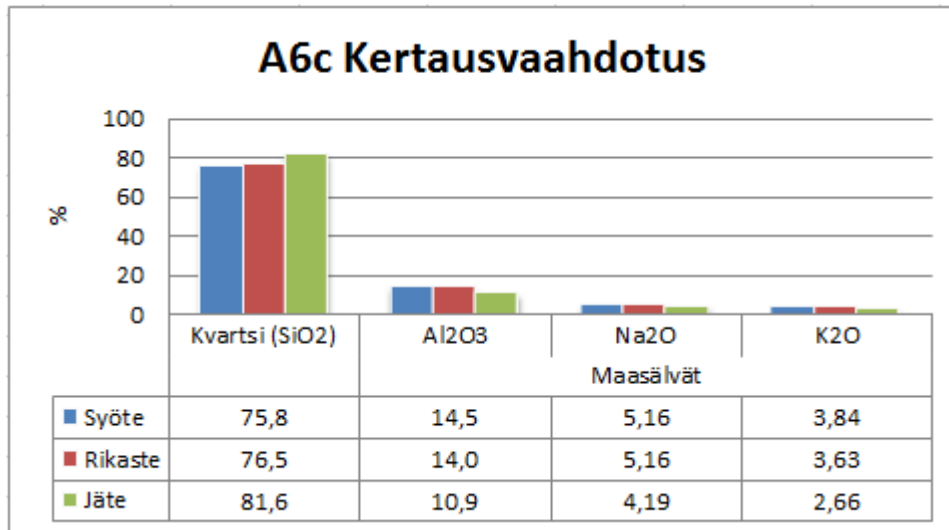


KUVA 32. Kertausvaahdotuksen B4c saanti

### 7.1.2 Vaahdotuskokeet A6c ja B6c

Kertausvaahdotuksissa A6c ja B6c kokoojakemikaalina käytettiin kokoojakemikaaliyhdistelmää annostuksella 300 g/t, joka koostui AERO 3030C:stä ja AERO 825. Kokoojakemikaaliyhdisteen suhteena käytettiin 150/150 g/t. Kummatkin vaahdotuskokeet vaahtosivat hyvin, mutta jätettä suhteessa rikasteeseen jäi todella vähän. Verrattaessa kertausvaahdotuksiin A4c ja B4c, vaahdotuskokeet A6c ja B6c tuottivat vielä vähemmän jätettä. Vaahdotuskokeen A6c XFR-pitoisuuksissa huomaa pieniä eroja, mutta vaahdotuksessa B6c pitoisuuseroja ei ole lähes ollenkaan. Kummankin vaahdotuskokeen syötteen, jätteen ja rikasteen painot ovat taulukossa 7.

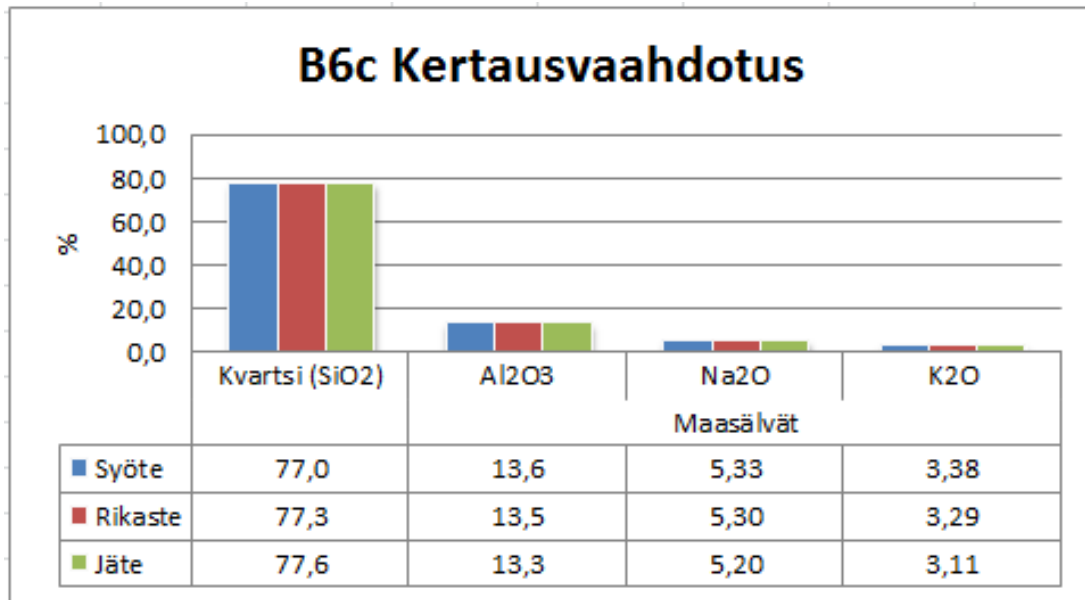
Vaahdotuskoe A6c toimi hieman. Kokeen tulosten pitoisuuserot ovat hyvin pienet, mutta suunnaltaan oikeanlaiset. Kvartsin pitoisuus on suurempi jätteessä kuin rikasteessa sekä maasälpien pitoisuudet ovat hieman suuremmat rikasteessa kuin jätteessä. Vaahdotuskokeen pitoisuuserot ovat kuitenkin niin pienet sekä syötteen maasälpäpitoisuus on isompi kuin rikasteessa, joten saantia vaahdotuskokeelle ei saatu laskettua. Vaahdotuskokeen A6c pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 33. Vaahdotuskoe tuotti jätettä todella vähän suhteessa rikasteeseen. Rikasteen ja jätteen suhde on esitetty kuvassa 59.



KUVA 33. Kertausvaahdotuksen A6c pitoisuudet

Vaahdotuskoe B6c onnistui vaahdotuskokeista huonoiten. Vaahdotuskokeen rikasteen ja jätteen välillä ei ollut lähes minkäänlaista pitoisuuseroa. Vaahdotus tuotti vähän jätettä suhteessa rikasteeseen. Rikasteen suhde jätteeseen on esitetty kuvassa 59. Vaahdotuskokeen B6c pitoisuuserot ovat nähtävissä kuvasta 34. Vaahdotuskokeen tulosten perusteella voidaan todeta, ettei vaahdotus toiminut. Kertausvaahdotukset suoritettiin samoilla kemikaaleilla ja olosuhteissa, mutta vain A6c toimi jotenkin.

Ainoa eroavaisuus kokeiden välillä oli syötettävä malmi. Vaahdotuskoe A6c suoritettiin Syväjärven malmilla ja B6c Läntän malmilla. Malmit oli myös vaahdotettu kerran jo edellisessä opinnäytetyössä, joten malmin A ja B eroavaisuudet korostuvat kertausvaahdotuksissa enemmän.



KUVA 34. Kertausvaahdotuksen B6c pitoisuudet

## 7.2 Kokoojakemikaalin annoksen nosto ja lasku

Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja lasku-vaahdotuskokeita suoritettiin yhteensä viisi. Vaahdotuskokeissa testattiin kokoojakemikaaleja Armac C ja Armac T. Vaahdotuskokeiden ideana oli testata kokoojakemikaaleja suuremmalla sekä pienemmällä annoksella kuin edeltävässä opinnäytetyössä. Vaahdotuskokeiden muut muuttujat pidettiin kokeissa vakioina. Edeltävässä opinnäytetyössä kaikissa vaahdotuskokeissa käytettiin kokoojakemikaalin annostuksena 300 g/t. Tämän osion vaahdotuskokeissa testataan Armac C:tä annostuksella 500 g/t ja Armac T:tä annostuksilla 200 g/t ja 500 g/t.

Armac C:llä testattiin vaahdotusta ainoastaan Syväjärven malmilla. Armac T:n annostusta testattiin pienemmällä ja isommalla annostuksella sekä Läntän että Syväjärven malmille. Vaahdotuskokeiden raaka-aineet eli syötteet otettiin Keliber Oy:ltä saaduista vaahdottamattomista malmeista. Rikastetta ja jätettä syntyi kumpaakin kaikissa vaahdotuksissa. Rikasteen ja jätteen suhteesta huomaa jo kemikaaliannoksen vaikutuksen vaahdotukseen. Kaikki vaahdotuskokeet onnistuivat, koska

pitoisuuseroja syntyi ja saannit saatiin määritettyä. Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion syötteiden, rikasteiden, jätteiden ja niiden näytteiden massat ovat nähtävissä taulukosta 8. Kaikkien kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion saannit ja pitoisuudet on taulukoitu liitteessä 1. Osion vaahdotuskokeiden saannit on esitetty samassa kuvassa osion 7.2 lopussa kuvassa 47.

TAULUKKO 8. Kokoojakemikaali annostelun nosto- ja lasku-vaahdotuskokeiden koesuunnitelma täydennettynä

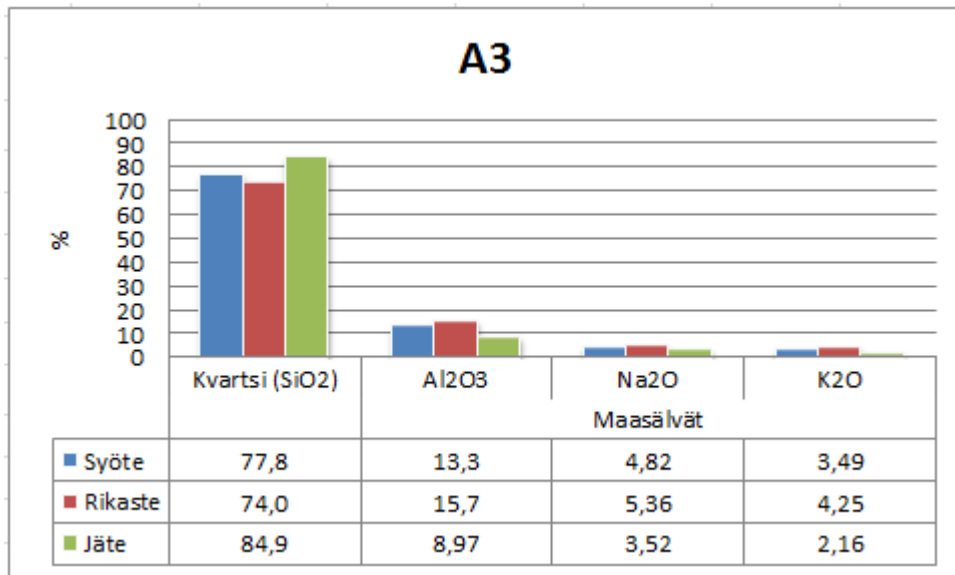
Kokoojakemikaali annoksen nostaminen ja laskeminen				
			Valmennus	10min
Vaahdotus kemikaali	Annostus (tippaa)		Rikasteen keruu aika	4min
Aerofloat	2		Rikaste todellinen keruu aika (min)	
	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	pH
A3	375,1	252,5	111,3	2,5
A4a	375,1	320,8	40	2,5
A4b	375	183,2	177,1	2,5
B4a	375,1	197,7	164,2	2,5
B4b	375,1	120,9	232,5	2,5
	Kokooja kemikaali	Kokoojan määrä g/t	Kokoojan määrä kokeessa (g)	
A3	Armac C	500	0,1875	
A4a	Armac T	500	0,1875	
A4b	Armac T	200	0,075	
B4a	Armac T	500	0,1875	
B4b	Armac T	200	0,075	
Näytteet	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	
A3	10,12	10,09	10,17	
A4a	10,03	10,21	10,04	
A4b	10,04	10,04	10,05	
B4a	10,18	10,14	10,24	
B4b	10,07	10,08	10,15	

### 7.2.1 Vaahdotuskoe A3

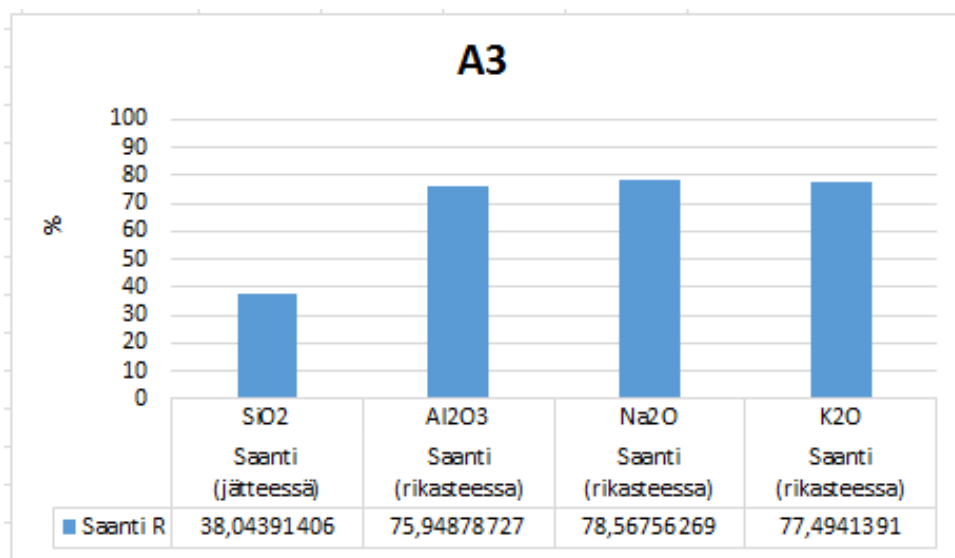
Vaahdotuskokeessa A3 testattiin Armac C-kokoojakemikaalin annoksen nostoa Syväjärven malmin vaahdotuksessa. Vaahdotuskokeen kokoojan annoksena käytettiin 500 g/t. Vaahdotuskoe meni hyvin, ja pitoisuuseroja syntyi selvästi. Kaikki pitoisuuserot olivat myös oikeanlaisia. Koevaahdotuksessa syöte vaahdotosi vain 1.5 minuuttia, mutta tuotti silti rikastetta ja jätettä normaalissa suhteessa. Vaahdotuksen nopeudesta päätellen voi todeta, että vaahdotus toimi tehokkaasti. Kvartsia jäi pitoisuuksiltaan enemmän jätteeseen kuin rikasteeseen ja maasälpä jäi enemmän rikasteeseen kuin jätteeseen. Kvartsin pitoisuus kasvoi myös syötteestä jätteeseen sekä maasälpä pitoisuudet kasvoivat

syötteestä rikasteeseen. Vaahdotuskokeen A3 pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 35. Vaahdotuskokeen tuloksista saatiin laskettua myös saannit, jotka olivat hyviä. Kvartsin saanti oli jätteessä 38 % ja maasälpien saannit sijoittuivat välille 75–79 %. Vertailtaessa edeltävän opinnäytetyön saanteihin kvartsin saanti laski 10 % ja maasälpien saannit nousivat noin 20 %.

Vaahdotuskokeen A3 saannit on esitetty kuvassa 36.



KUVA 35. Vaahdotuskokeen A3 pitoisuudet



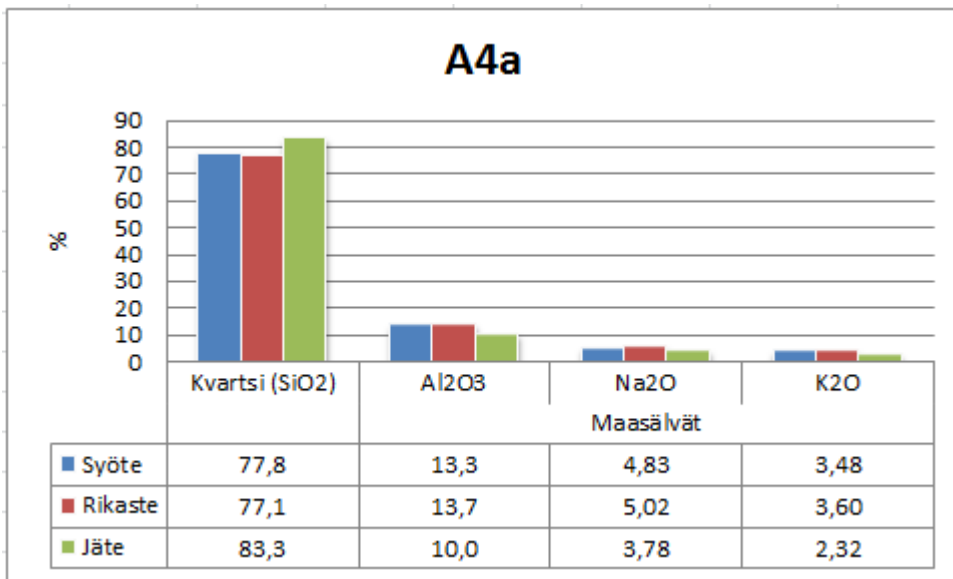
KUVA 36. Vaahdotukokeen A3 saannit

### 7.2.2 Vaahdotuskokeet A4a ja B4a

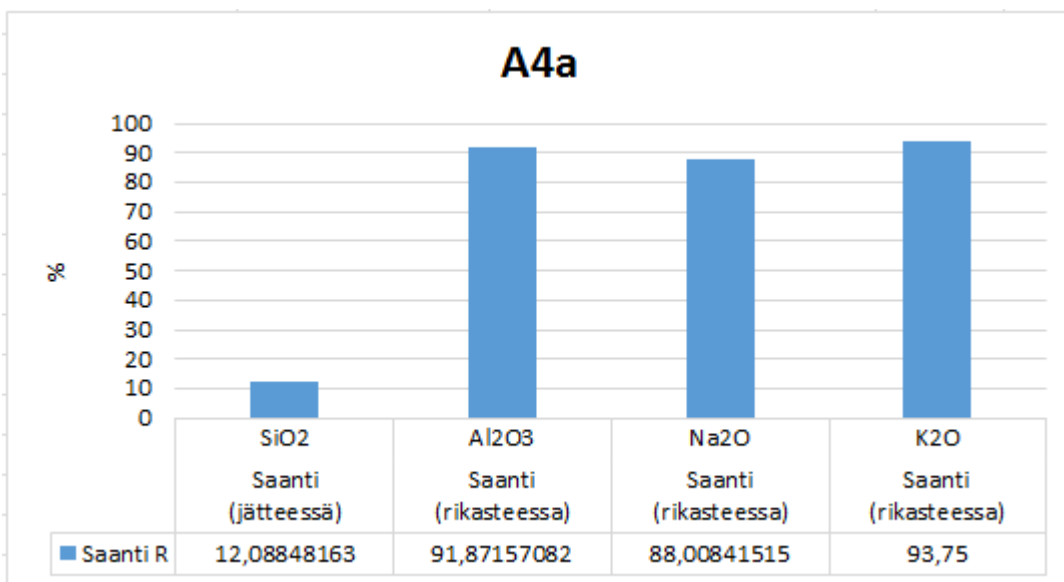
Vaahdotuskokeissa A4a ja B4a käytettiin kokoojakemikaalina Armac T:n suurempaa annostusta 500 g/t. Kummatkin vaahdotukset toimivat sekä tuottivat oikeanlaisia pitoisuuseroja. Kvartsin pitoisuus on suurempi jätteessä kuin syötteessä, mutta pienempi rikasteessa kuin jätteessä. Maasälpien pitoisuudet olivat suurempia rikasteessa kuin syötteessä, mutta pienempiä jätteessä kuin rikasteessa. Molemmat vaahdotuskokeet vaahtosivat nopeasti ja tuottivat paljon vaahtoa. Näiden kahden vaahdotuskokeen perusteella Läntän malmi vaahdottui paremmin kuin Syväjärven malmi.

Vaahdotuskoe A4a:sta saatiin kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion huonoimmat tulokset, mutta vaahdotus toimi silti. Vaahdotus tuotti todella paljon vaahtoa jonka johdosta vaahdotuskoe A4a tuotti tämän osion kokeista vähiten jätettä. Rikasteen ja jätteen suhde on nähtävissä kuvasta 59. Vaahdotuskokeen pitoisuuserot olivat pienempiä verrattaessa kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion muihin vaahdotuskokeisiin. Vaahdotuskokeen A4a pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 37. Vaahdotuskokeesta saatiin laskettua saannit. Kvartsin saanti oli vain 12 %, mutta maasälpien saannit sijoituivat välille 88–94 %.

Vaahdotuskokeen A4a saannit on esitetty kuvassa 38. Edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeessa A4 testattiin saman kokoojakemikaalin annostusta 300 g/t samalle Syväjärven malmille. Vaahdotuskokeen A4a ja A4 saanneissa on huomattavia eroja. Kvartsin saanti on 25 % pienempi vaahdotuskokeessa A4a kuin vaahdotuskokeessa A4. Maasälpien saannit olivat noin 5–20 % suurempia vaahdotuskokeissa A4a kuin vaahdotuskokeessa A4. Vaahdotuskokeen saantien sekä rikasteen ja jätteen suhteesta voi päätellä, että vaahdotus toimi liian hyvin ja vaahdotti myös paljon kvartsia rikasteeseen. Käytännössä kokoojakemikaali vaahdotti melkein kaiken mineraalista riippumatta. Kokoojakemikaalin annostus oli varmasti liian suuri, koska kokoojan selektiivisyys väheni.



KUVA 37. Vaahdotuskokeen A4a:n pitoisuudet

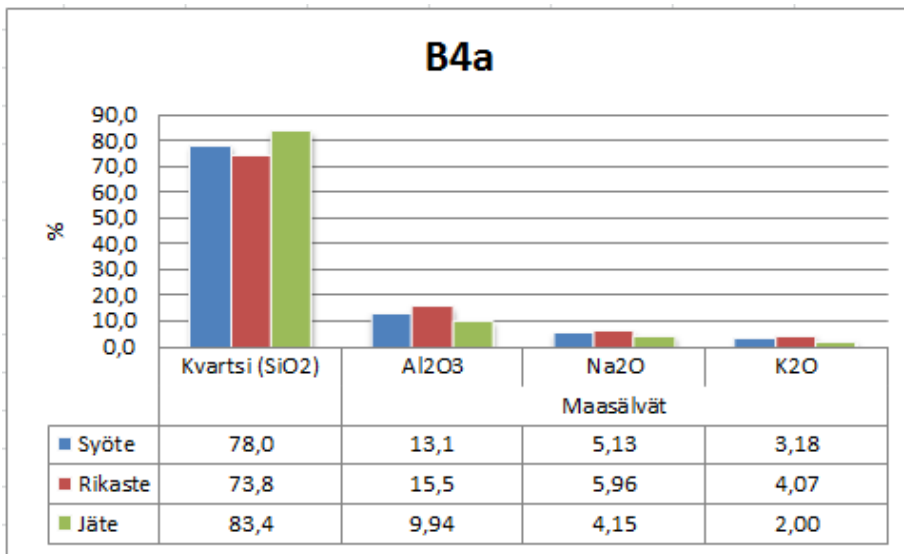


KUVA 38. Vaahdotuskokeen A4a saannit

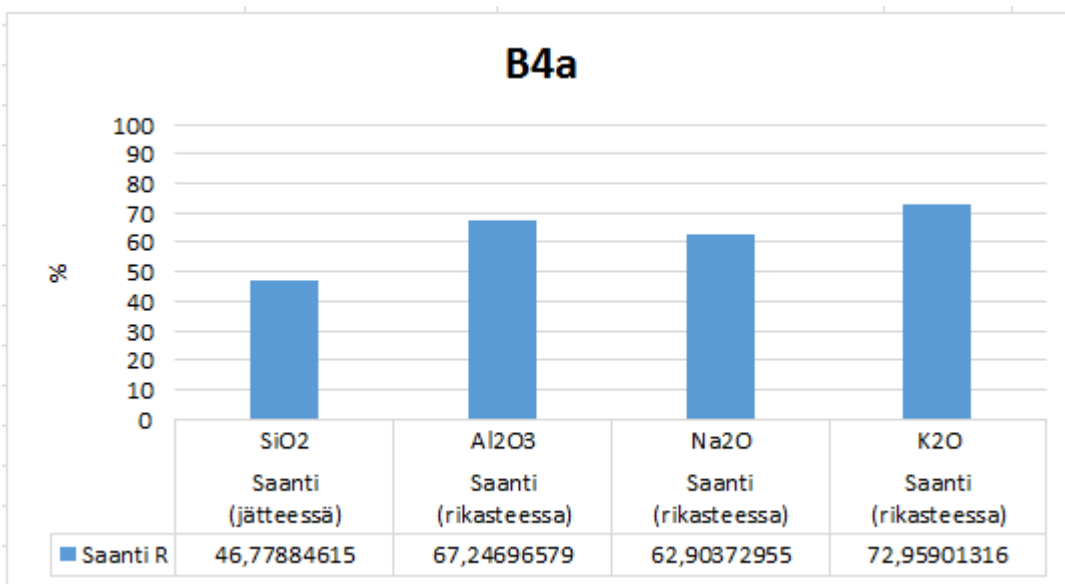
Vaahdotuskoe B4a tuotti paremmat tulokset kuin A4a. Vaahdotuskokeen pitoisuuserot olivat hieman suuremmat kuin kokeessa A4a. Vaahdotuskokeen B4a pitoisuuserot on esitetty kuvassa 39. Vaahdotuskokeen rikastetta nousi voimakkaasti noin 1.5 minuuttia, mutta silti rikastetta ja jätettä syntyi melkein saman verran kumpaakin. Rikasteen ja jätteen suhde on nähtävissä kuvasta 59. Vaahdotuskokeen B4a kvartsin saanti oli korkea 46 %, mutta maasälprien saannit ovat vain välillä 62–72 %. Edeltävässä opinnäytetyön vaahdotuskokeessa B4 käytettiin samaa kokoojakemikaalia samalle Längen malmille annostuksella 300 g/t. Verrattaessa vaahdotuskokeita B4a vaahdotuskokeeseen B6,



kvartsin saanti putosi 12 %:iin ja maasälpjen saannit kasvoivat 10–20 %:iin. Vaahdotuskokeen B4a saannit ovat nähtävissä kuvasta 40.



KUVA 39. Vaahdotuskokeen B4a pitoisuudet



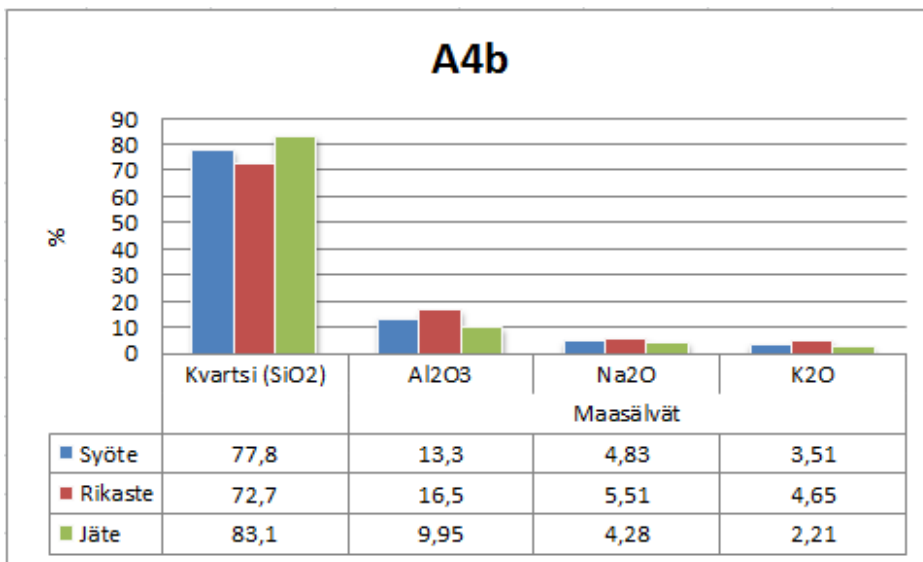
KUVA 40. Vaahdotuskokeen B4a saannit

### 7.2.3 Vaahdotuskokeet A4b ja B4b

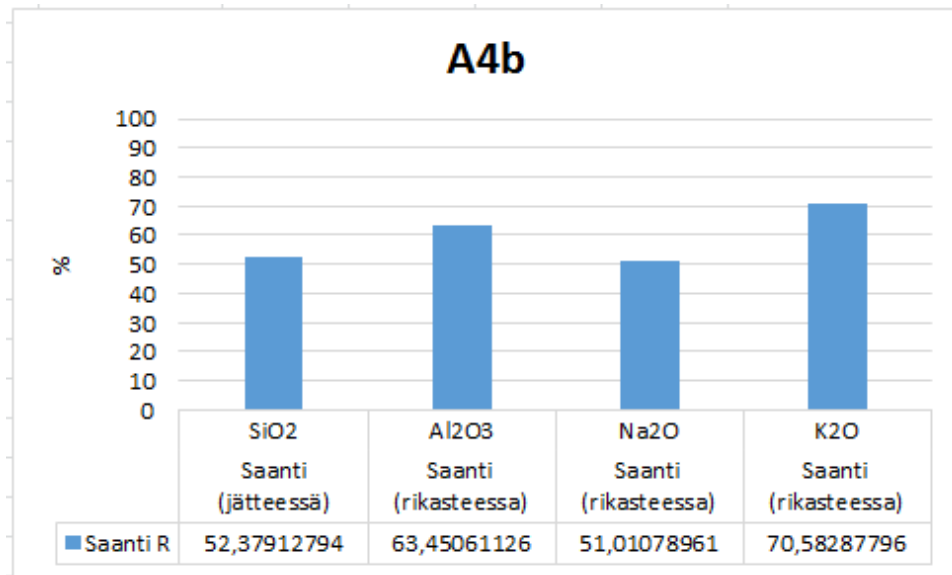
Vaahdotuskokeissa A4b ja B4b testattiin kokoojakemikaalia Armac T pienemmällä annoksella, joka oli 200 g/t. Molemmat vaahdotuskokeet toimivat ja tuottivat pitoisuuseroja sekä saannit. Molemmissa pitoisuuserot nousivat ja laskivat oikeansuuntaisesti. Vaahdotuksissa kvartsin pitoisuus kasvoi syötteestä jätteeseen sekä maasälpjen pitoisuus kasvoi syötteestä rikasteeseen. Kvartsin pitoisuus oli

myös maasälpää suurempi jätteessä ja maasälpien pitoisuus suurempi rikasteessa kuin jätteessä. Molempien vaahdotuskokeiden tulokset olivat saman suuntaisia, mutta Syväjärven malmi vaahtosi hieman selektiivisemmin kuin Längän malmi.

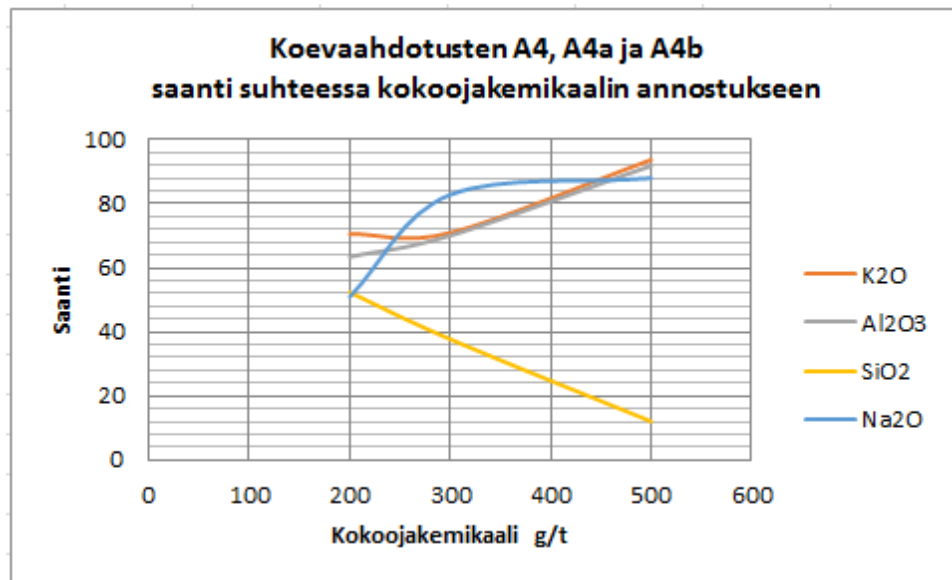
Vaahdotuskoe A4b tuotti näistä kahdesta vaahdotuskokeista paremmat tulokset. Vaahdotuskoe tuotti suuremmat pitoisuuserot kuin vaahdotuskoe A4a, jossa saman kokoojan annostuksena käytettiin 500 g/t. Vaahdotuskokeen A4a pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 37 ja kokeen A4b pitoisuudet kuvasta 41. Vaahdotuskoe A4b tuotti hieman pienemmät pitoisuuserot kuin samalla kokooja annostuksella tehty vaahdotuskoe B4b. Vaahdotus tuotti rikastetta sekä jätettä molempia melkein saman verran. Rikasteen ja jätteen suhde on nähtävissä kuvasta 59. Vaahdotuskoe tuotti kvartsille hyvän saannon, joka oli 52 % jätteessä, mutta maasälpien saannot sijoittuivat välille 50–70 %. Vaahdotuskokeen A4b saannit on esitetty kuvassa 42. Verrattaessa edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeeseen A4, kvartsin saanti kasvoi 15 %:iin ja maasälpien saannot putosivat 10–20 %:iin. Edeltävän opinnäytetyön saannit mukaan ottaen kokoojakemikaalia Armac T:tä on testattu kolmella eri annostuksella. Kaikkien kolmen vaahdotuskokeen A4, A4a ja A4b tulosten pohjalta piirrettiin kuvaaja, jossa ovat saannit suhteessa kokoojakemikaalin annostukseen. Kuvaaja saantien muutoksesta suhteessa kokoojakemikaalin annokseen on nähtävissä kuvasta 43.



KUVA 41. Vaahdotuskokeen A4b pitoisuudet



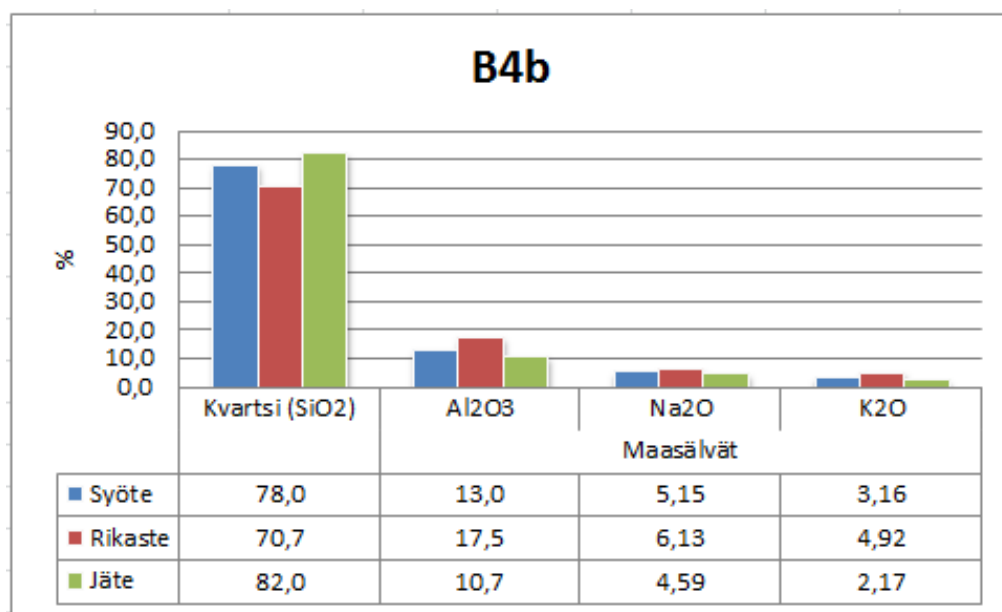
KUVA 42. Vaahdotuskokeen A4b saannit



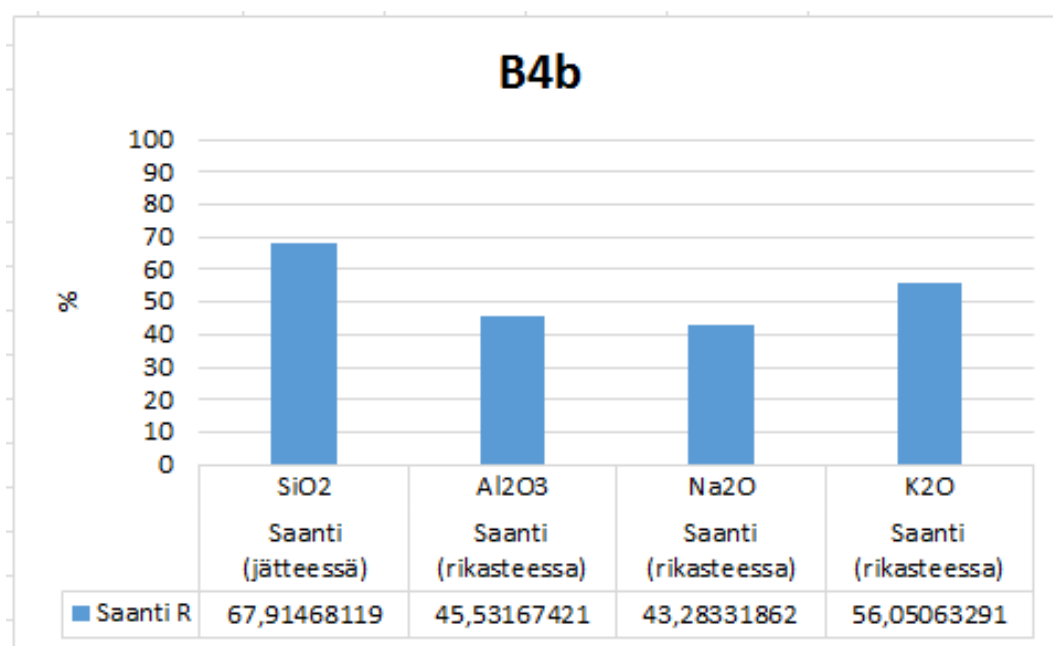
KUVA 43. Vaahdotuskokeiden A4, A4a ja A4b saannit suhteessa kokoojakemikaalin annostukseen

Vaahdotuskoe B4b tuotti hieman korkeampia pitoisuuksia rikasteen ja jätteen välille kuin vaahdotuskoe B4a, jossa kokoojan annoksena käytettiin suurempaa annostusta 500 g/t. Vaahdotuskokeen B4b pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 44. Vaahdotuskoe tuotti kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosioista vähiten rikastetta. Vaahdotuskokeen rikasteen ja jätteen suhde oli noin 1/3. Rikasteen ja jätteen suhde on nähtävissä kuvasta 59. Läntän malmi vaahdottui selvästi huonommin kuin Syväjärven malmi samalla kokoojakemikaalin annostuksella, koska saannit vaahdotusten välillä olivat oikeastaan käänteisiä. Vaahdotuskokeen B4b kvartsin saanti oli 68 % ja maasälpäen saannit välillä 43–56 %. Malmi ei vaahdottunut kunnolla, koska maasälpä jäi suhteellisen paljon jätteeseen.

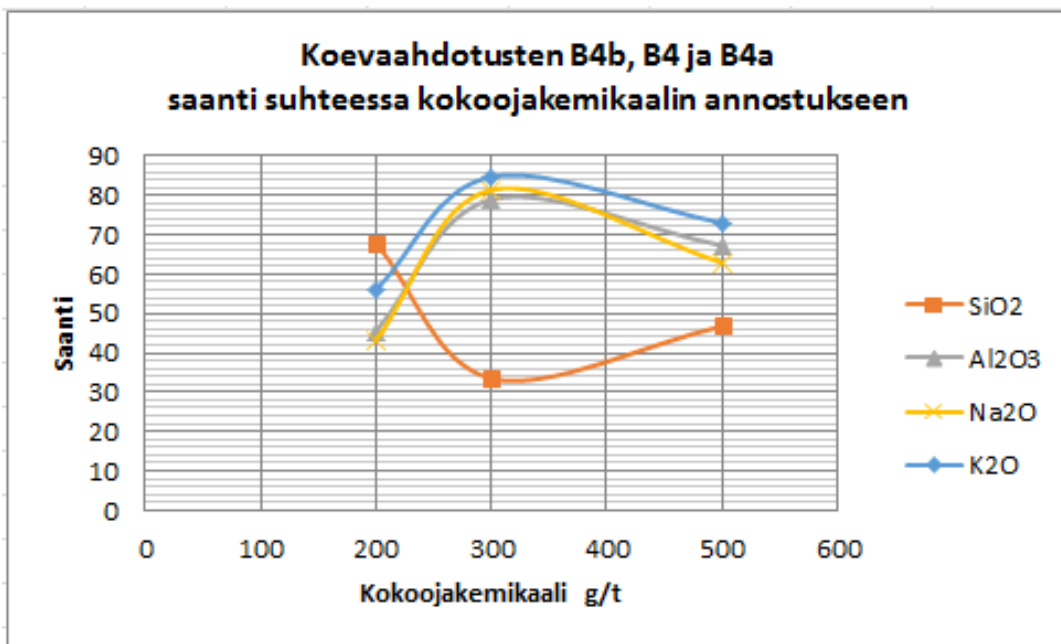
Vaahdotuskokeen B4b saannit ovat nähtävissä kuvasta 45. Edellisessä opinnäytetyössä tehtiin koevaahdotus B4 samalle malmille ja samalla kokoojakemikaalilla, mutta kokoojakemikaalin annostuksella 300 g/t. Koevaahdotuksen B4 tulokset mukaan ottaen piirrettiin kuvaaja, jossa on kuvattu saanti suhteessa kokoojakemikaalin annostukseen. Saannin ja kokoojakemikaalin annostuksen suhteen kuvaaja on nähtävissä kuvasta 46.



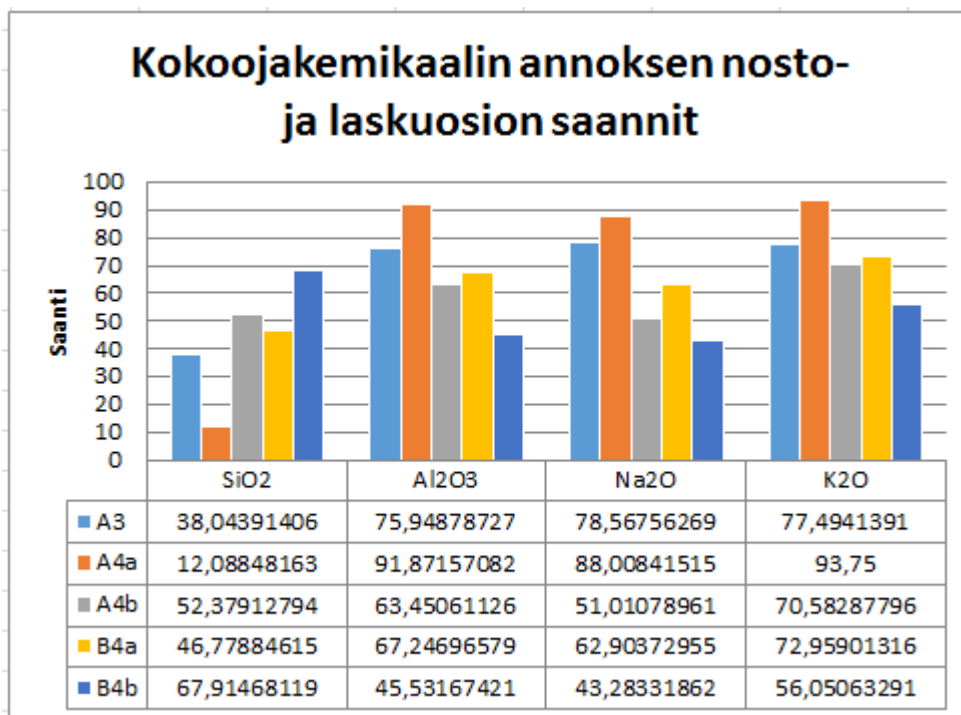
KUVA 44. Vaahdotuskokeen B4b pitoisuudet



KUVA 45. Vaahdotuskokeen B4b saannit



KUVA 46. Vaahdotuskokeiden B4b, B4 ja B4a saannit suhteessa kokoojakemikaalin annostukseen



KUVA 47. Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion saannit

### 7.3 Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus

Kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteen testaus vaahdotuskokeissa testattiin kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteita. Kokoojakemikaali yhdiste koostui AERO 3030C:stä ja AERO 825:stä ja yhdistettä käytettiin kaikissa vaahdotuskokeissa annostukseltaan 300 g/t. Edeltävässä opinnäytetyössä testattiin kokoojakemikaali yhdistelmän suhdetta 150/150 g/t niin Längän kuin Syväjärven malmille. Tämän osion tarkoituksena oli testata kokoojakemikaaliyhdistelmän suhteita 100/200 g/t ja 200/100 g/t sekä Längän että Syväjärven malmille. Koevaahdotuksia suoritettiin yhteensä 4 kappaletta. Koevaahdotuksissa A6a ja B6a testattiin yhdisteen suhdetta 100/200 g/t. Vaahdotuskokeissa A6b ja B6b testattiin yhdisteen suhdetta 200/100 g/t. Kokoojakemikaaliyhdisteen suhde 100/200 g/t tarkoittaa kokoojakemikaali AERO 3030C:n annostusta 100 g/t ja AERO 825:n annostusta 200 g/t. Vaahdotuskokeiden malmit otettiin Keliber Oy:ltä saaduista vaahdottamattomista kvartsi-maasälpä malmeista.

Tämän osion kaikki neljä vaahdotuskoetta tuottivat haluttuja pitoisuuseroja. Kvartsin pitoisuus oli korkeampi jätteessä kuin rikasteessa ja maasälpjen pitoisuudet korkeampia rikasteessa kuin jätteessä. Kvartsin pitoisuus oli myös noussut syötteestä jätteeseen sekä maasälpjen pitoisuudet olivat nousseet syötteestä rikasteeseen. Kaikissa tämän osion vaahdotuskokeissa Längän malmi vaahtosi hieman paremmin kuin Syväjärven malmi. Kokoojakemikaaliyhdisteen suhteista yhdisteen suhde 200/100 g/t vaahtosi huomattavasti voimakkaammin ja tuotti huomattavasti vähemmän jätettä. Vaahdotuskokeiden rikasteen ja jätteen suhde on nähtävissä kuvasta 59. Kaikissa vaahdotuskokeista saatiin hyviä pitoisuuseroja sekä hyvät saannot. Taulukossa 9 on täytettynä kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteen testaus-vaahdotuskokeiden koesuunnitelma, jossa esitetään syötteiden, rikasteiden ja jätteiden massat. Kaikki kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteen testaus-osion pitoisuudet ja saannot on taulukoituna liitteessä 1. Kaikki tämän osion saannot on samassa kuvaajassa luvun 7.3 lopussa kuvassa 57.

TAULUKKO 9. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus vaahdotuskokeiden koesuunnitelma täydennettynä

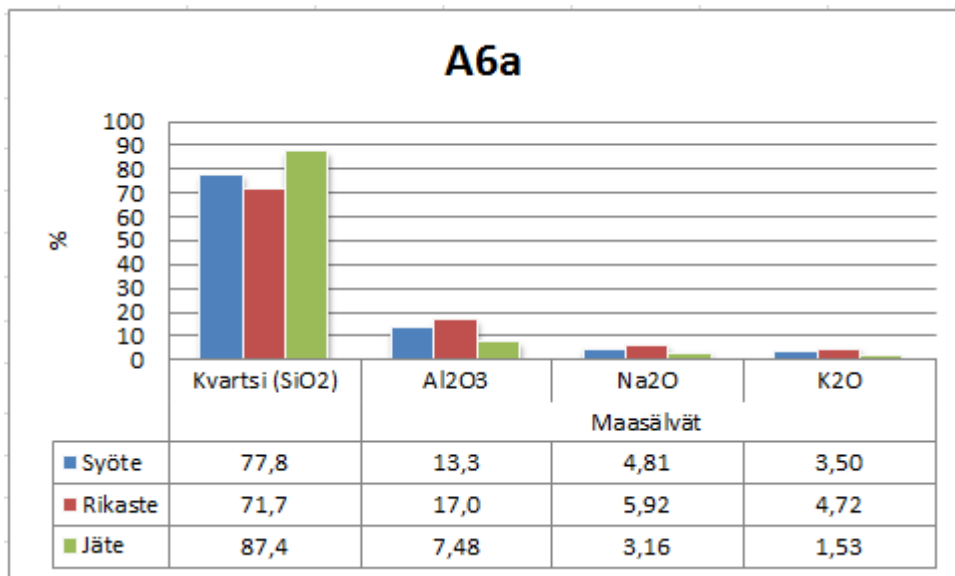
Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus				
			Valmennus	10min
Vaahdotus kemikaali	Annostus (tippaa)		Rikasteen keruu aika	4min
Aerofloat	2		Rikaste todellinen keruu aika (min)	
	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	pH
A6a	375	217	146,3	2,5
A6b	375,1	299,6	64,5	2,5
B6a	375,1	242,1	119	2,5
B6b	297,7	235,6	34,9	2,5
	Kokooja kemikaali	Kokoojan määrä g/t	Kokoojan määrä kokeessa (g)	
A6a	Aero 3030c + Aero 825	100 / 200	0,0375 / 0,075	
A6b	Aero 3030c + Aero 825	200 / 100	0,075 / 0,0375	
B6a	Aero 3030c + Aero 825	100 / 200	0,0375 / 0,075	
B6b	Aero 3030c + Aero 825	200 / 100	0,075 / 0,0375	
Näytteet	Syöte (g)	Rikaste (g)	Jäte (g)	
A6a	10	10,01	10,07	
A6b	10	10,28	10,23	
B6a	10,05	10,1	10,02	
B6b	10,05	10,11	10,16	

### 7.3.1 Vaahdotuskokeet A6a ja B6a

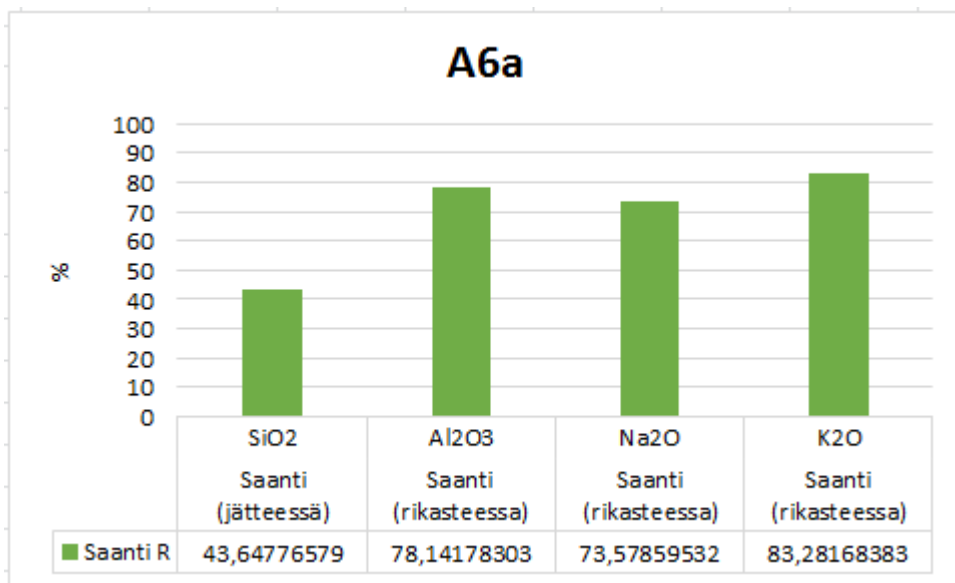
Koevaahdotuksissa A6a ja B6b testiin kokoojakemikaalia, joka koostui AERO 3030C:stä ja AERO 825:stä suhteella 100/200 g/t. Vaahdotuskokeista Läntän malmi vaahtosi enemmän tuottaen enemmän rikastetta, mutta Syväjärven malmin vaahdotus tuotti suuremmat pitoisuuserot rikasteen ja jätteen välille. Molemmat vaahdotukset vaahtosivat todella nopeasti. Syväjärven malmi vaahtosi jo 1.45 minuutissa ja Läntän malmi 1 minuutissa.

Vaahdotuskoe A6a tuotti kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteen testaus-vaahdotuskokeiden suurimmat pitoisuuserot rikasteen ja jätteen välille. Vaahdotuskokeen A6a:n pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 48. Syväjärven malmin vaahdotuskoe A6a tuotti vähemmän rikastetta kuin Läntän malmin vaahdotus. Vaahdotuskokeen A6a saannit olivat suhteellisen hyvät. Kvartsin saanti oli 43 % ja maasälprien saannit sijoittuivat välille 73–83 %. Vaahdotuskokeen A6a saannit on esitetty kuvassa 49. Edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeessa A6 testattiin kokoojakemikaaliyhdisteen suhdetta 150/150 g/t. Vertailtaessa vaahdotuskokeiden A6a ja A6 saanneissa on huomattavia eroja. Kvartsin

saanti oli 28 % suurempi vaahdotuskokeessa A6a kuin vaahdotuskokeessa A6. Maasälprien saannit olivat noin 10–15 % pienemmät vaahdotuskokeessa A6a kuin vaahdotuskokeessa A6.



KUVA 48. Vaahdotuskokeen A6a pitoisuudet

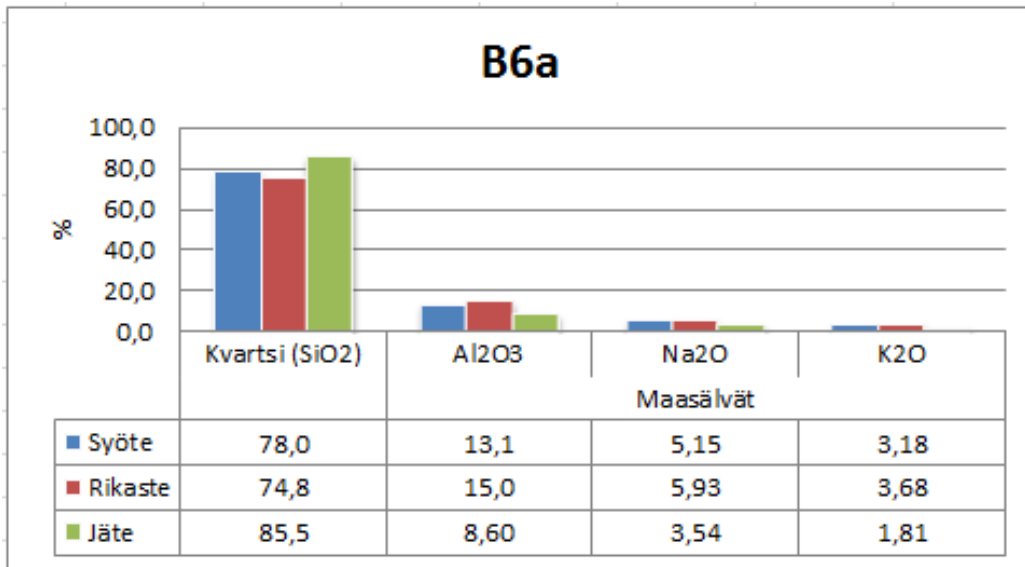


KUVA 49. Vaahdotuskokeen A6a saannit

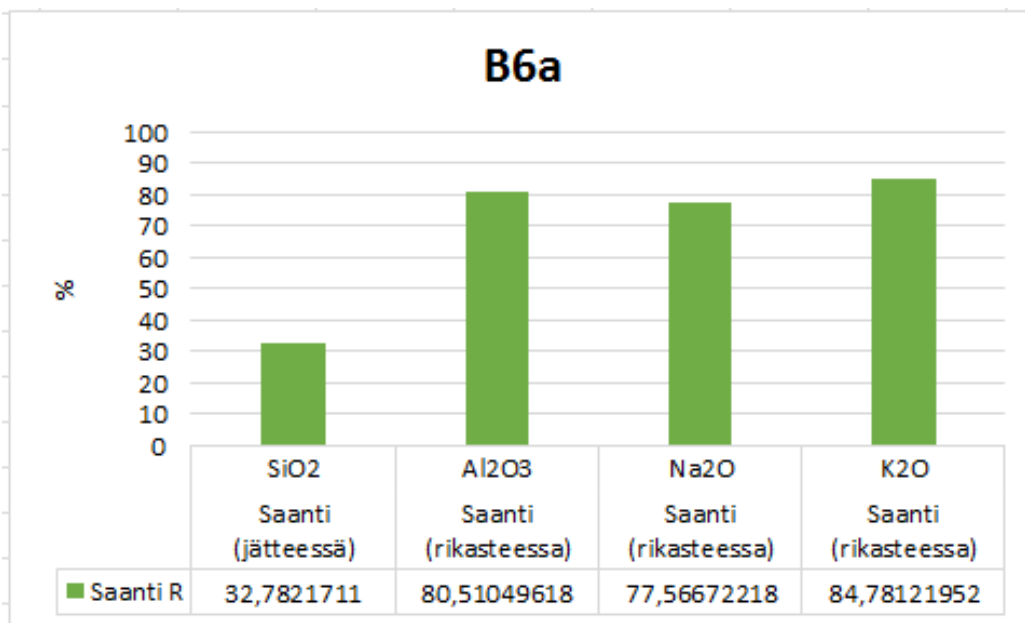
Vaahdotuskoe B6a tuotti pienempiä pitoisuuseroja kuin vaahdotuskoe A6a, mutta suurempia kuin A6b ja B6b. Vaahdotuskokeen B6a pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 50. Vaahdotuskoe B6a tuotti myös hieman suuremman määrän rikastetta kuin vaahdotuskoe A6a. Längän malmin vaahdotuksessa saatiin 1–5 % suuremmat saannit maasälväille kuin Syväjärven malmin vaahdotuksessa, mutta kvartsin saanti tippui 10 %. Koevaahdotuksen B6a saannit on eritetty kuvassa 51. Edeltävän opinnäytetyön koevaahdotuksessa B6 käytettiin samalle Längän malmille saman kokoojakemikaalin annostusta 300



g/t. Vaahdotuskokeiden B6a ja B6 saantien välillä oli pieniä eroja. Kvartsin saanti kasvoi 12 % vaahdotuskokeesta B6a:sta vaahdotuskokeeseen B6 verrattuna, mutta maasälpien saannit laskivat 10–20 %.



KUVA 50. Vaahdotuskokeen B6a pitoisuudet

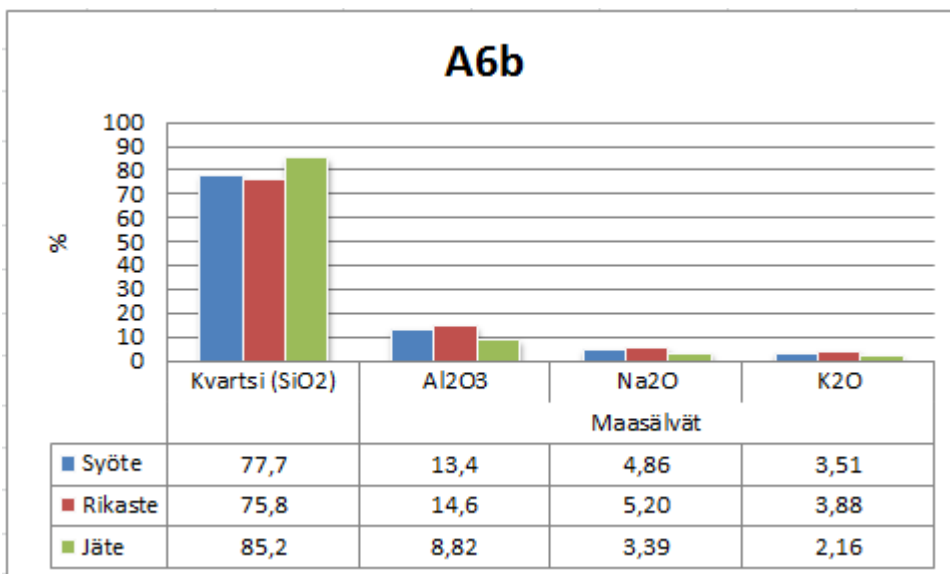


KUVA 51. Vaahdotuskokeen B6a saannit

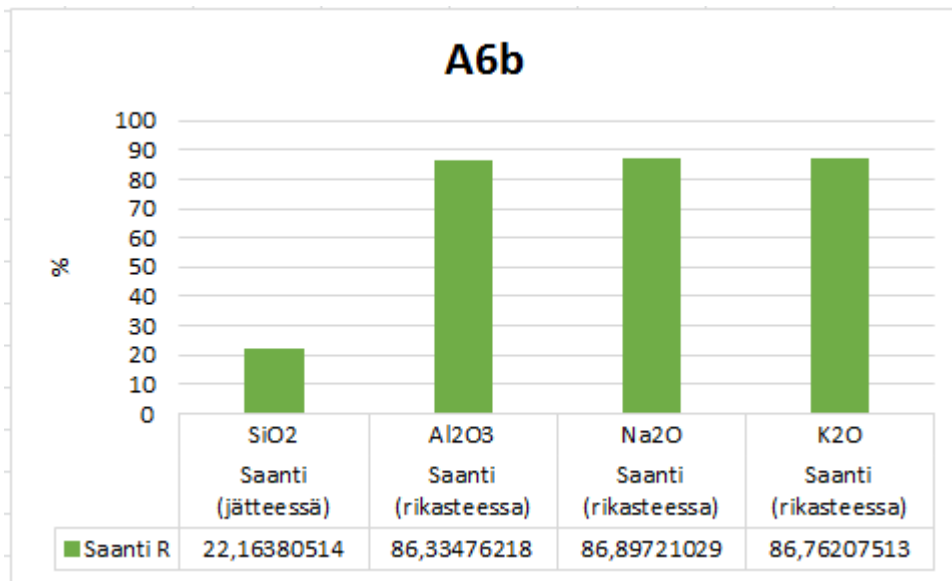
### 7.3.2 Vaahdotuskokeet A6b ja B6b

Vaahdotuskokeet A6b ja B6b suoritettiin käyttäen AERO 3030C:n ja AERO 825:n kokoojakemikaaliyhdistelmää suhteella 200/100 g/t. Kokoojakemikaaliyhdisteen annostuksena käytettiin 300 g/t. Vaahdotuksista Syväjärven malmin vaahdotuksessa syntyi suuremmat pitoisuuserot kuin Längtan malmin vaahdotettaessa. Vaahdotuskoe B6b tuotti suuremmat saannit maasälvillä kuin A4b, mutta A6b tuotti suuremmat saannit kvartsille. Molemmat vaahdotukset tuottivat suhteellisen vähän rikastetta. Rikasteen suhde jätteeseen oli melkein sama molemmissa vaahdotuksissa.

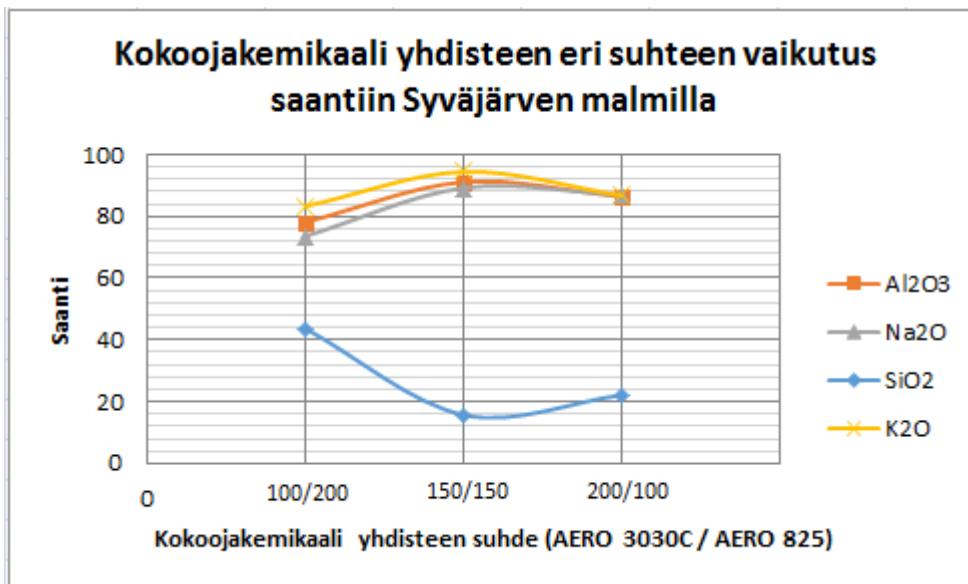
Vaahdotuskoe A6b tuotti hyviä tuloksia. Vaahdotuksen pitoisuuserot olivat hyvät, sekä suuremmat kuin Längtan malmin vaahdotuksessa samalla kemikaalisuhteella. Vaahdotuksen A6b pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 52. Vaahdotuskoe A6b vaahtosu melkein tuplasti kauemmin kuin kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteella suoritettu vaahdotuskoe A6a. Vaahdotuskokeen A6b tuotti hyvät saannit. Kvartsin saanti vaahdotuskokeessa oli 22 % ja maasälvien pitoisuudet olivat 86 % kukin. Edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeessa A6 testattiin saman kokoojakemikaaliyhdisteen suhdetta 150/150 g/t. Kvartsin saanti nousi 7 % verrattaessa vaahdotuskoetta A6 vaahdotuskokeeseen A6b. Maasälvien saannit laskivat 3–8 % verrattaessa vaahdotuskoetta A6 vaahdotuskokeeseen A6b. Vaahdotuskokeen A6b saannit ovat nähtävissä kuvasta 53. Ottaen huomioon vaahdotuskokeiden A6a, A6 ja A6b saannit, kuvaan 54 on piirretty kuvaaja kokoojakemikaaliyhdisteen suhteen vaikutuksesta saantiin.



KUVA 52. Vaahdotuskokeen A6b pitoisuudet



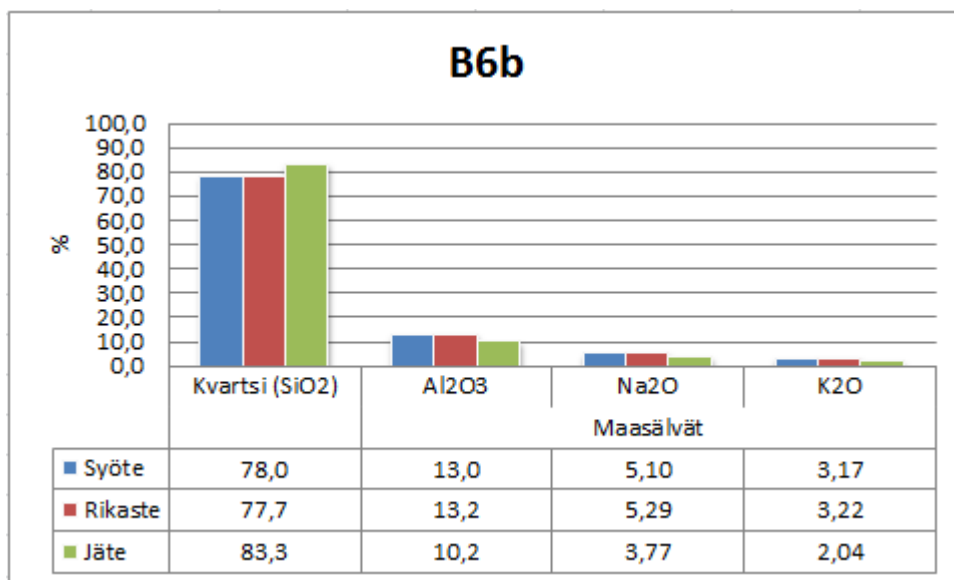
KUVA 53. Vaahdotuskokeen A6b saannit



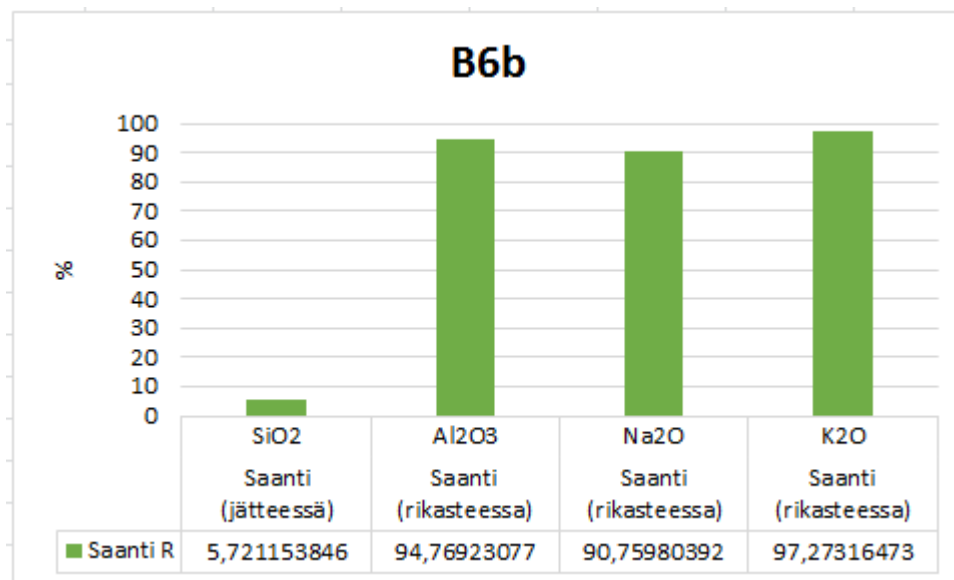
KUVA 54. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen vaikutus saantiin Syväjärven malmilla

Vaahdotuskoe B6b tuotti hyviä tuloksia. Vaahdotuskoe tuotti halutun suuruisia pitoisuuseroja, mutta pitoisuuserot rikasteen ja jätteen välillä olivat pienemmät kuin vaahdotuskokeessa A6b. Vaahdotuskokeen B6b pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 55. Vaahdotuskoe B6b vaahtosi voimakkaasti, sillä se tuotti kokoojakemikaaliyhdisteen testausosiosta vähiten jätettä. Jätteen massa suhteessa rikasteen massaansa oli vain 14 %. Vaahdotuskoe tuotti todella suuret saannit maasälville, mutta kvartsin saanti jäi pieneksi. Kvartsin saanti oli vain 5,7 %, mutta maasälpien saannit sijoittuivat välille 90–97 %. Vaahdotuskokeen B6b saannit ovat nähtävissä kuvasta 56. Vaahdotuskokeessa B6 testattiin samaa kokoojakemikaaliyhdistelmää samalle Längen malmille suhteella 150/150 g/t. Vertailtaessa vaahdotuskokeiden B6b ja B6 saanteja toisiinsa, huomataan selviä eroja. Kvartsin

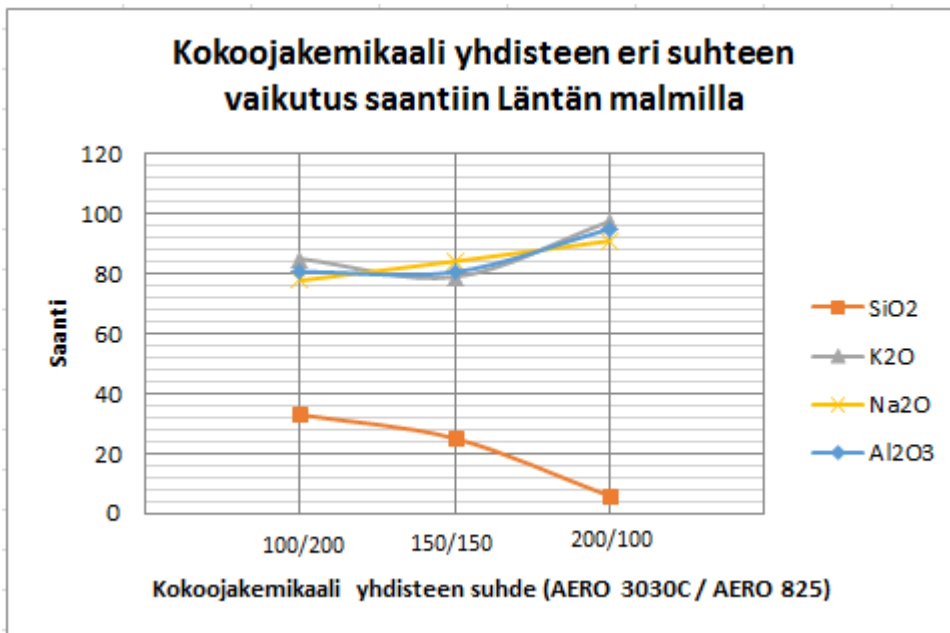
pitoisuus laski liki 20 % vaahdotuskokeesta B6 vaahdotuskokeeseen B6b, mutta maasälpien saannit nousivat 7–19 %. Ottaen vaahdotuskokeiden B6a, B6 ja B6b saannit huomioon, piirrettiin kaikista saanneista suhteessa kokoojakemikaaliyhdisteen suhteisiin yhtenäinen kuvaaja. Kuvaaja kokoojakemikaaliyhdisteen suhteen vaikutuksesta Längtan malmin vaahdotuksen saanteihin on nähtävissä kuvasta 57.



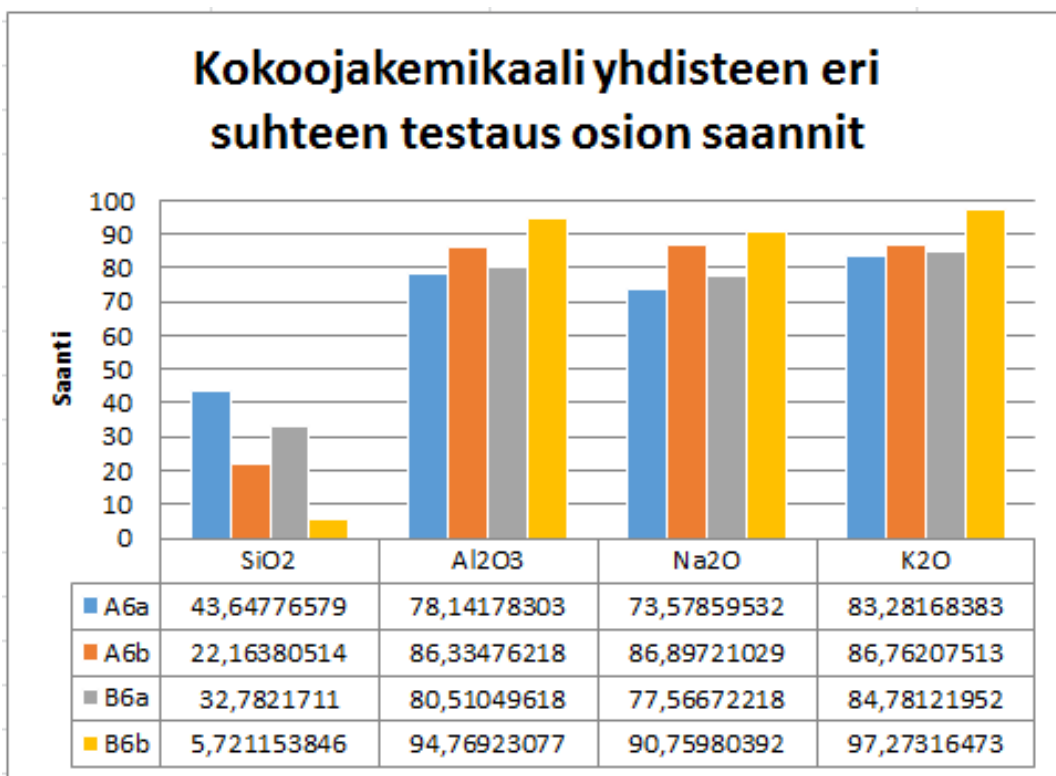
KUVA 55. Vaahdotuskokeen B6b pitoisuudet



KUVA 56. Vaahdotuskokeen B6b saannit



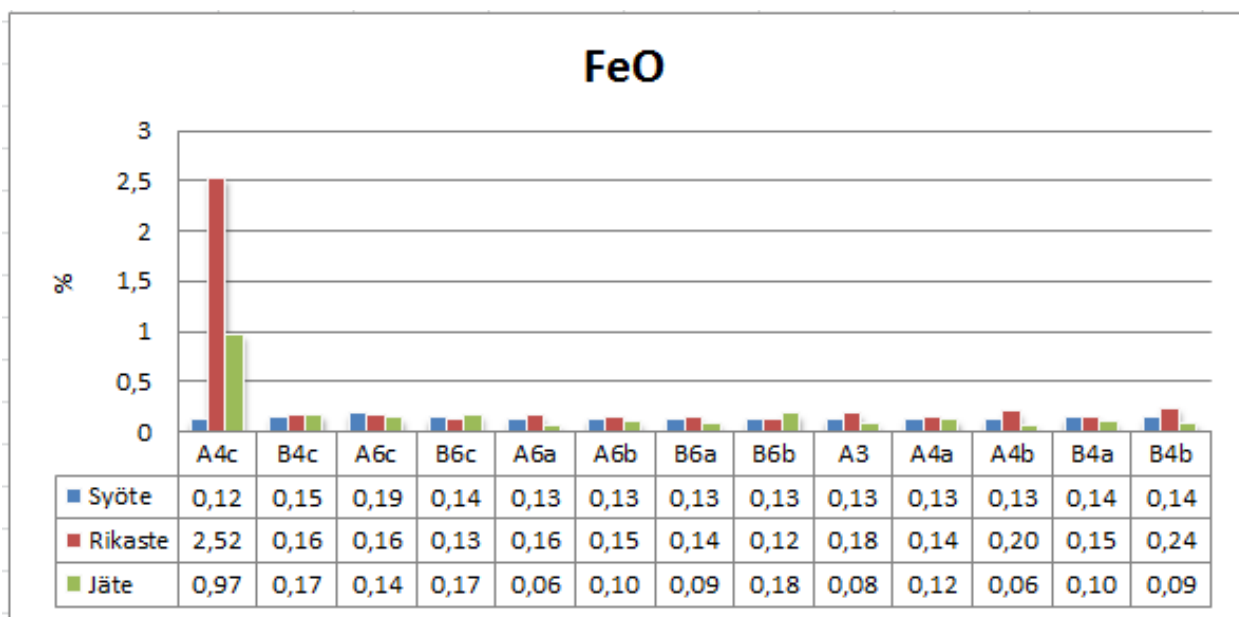
KUVA 56. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen vaikutus saantiin Läntän malmilla



KUVA 57. Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus osion saannit

## 7.4 Muut tulokset

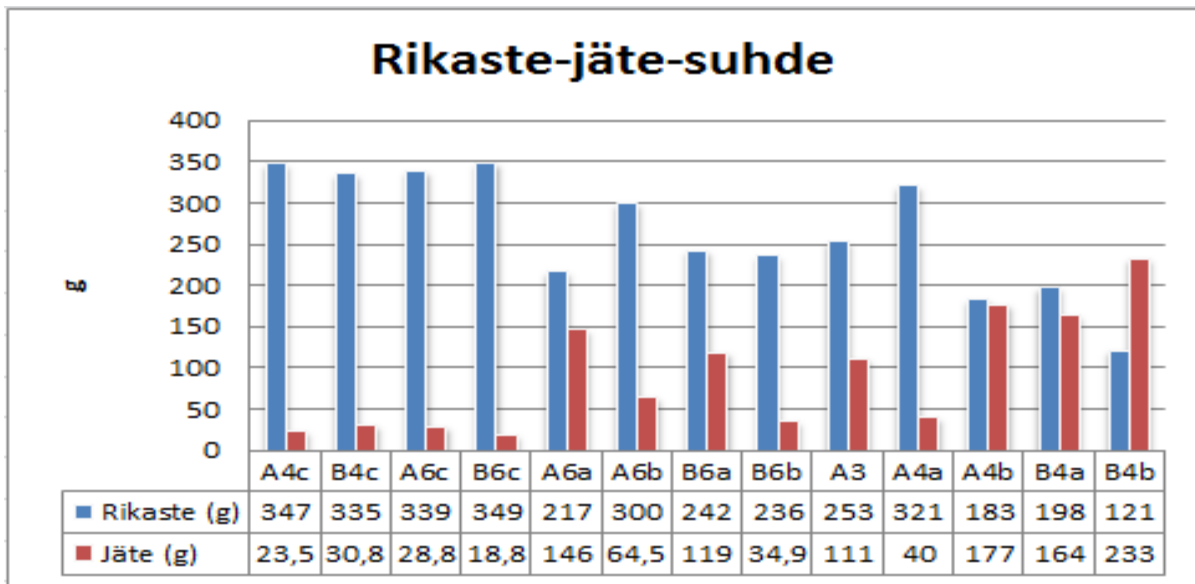
Vaahdotuskokeiden XRF-mittauksissa mitattiin myös rautaoksidin-pitoisuus. Raudan määrää vaahdotuksessa on syytä seurata, koska se voi vaikuttaa vaahdotuksen käyttäytymiseen. Kaikkien vaahdotuskokeiden rautaoksidi-pitoisuudet ovat nähtävissä kuvasta 58. Tarkasteltaessa rautaoksidi-pitoisuuksia, ainoan poikkeavuuden huomaa vaahdotuskokeessa A4c. Vaahdotuskokeen A4c rautaoksidi-pitoisuus on huomattavasti korkeampi rikasteessa ja jätteessä kuin muissa vaahdotuskokeissa. Kaikkien vaahdotuskokeiden rautaoksidi-pitoisuudet ovat kuitenkin niin pienet etteivät ne vaikuta vaahdotuksiin.



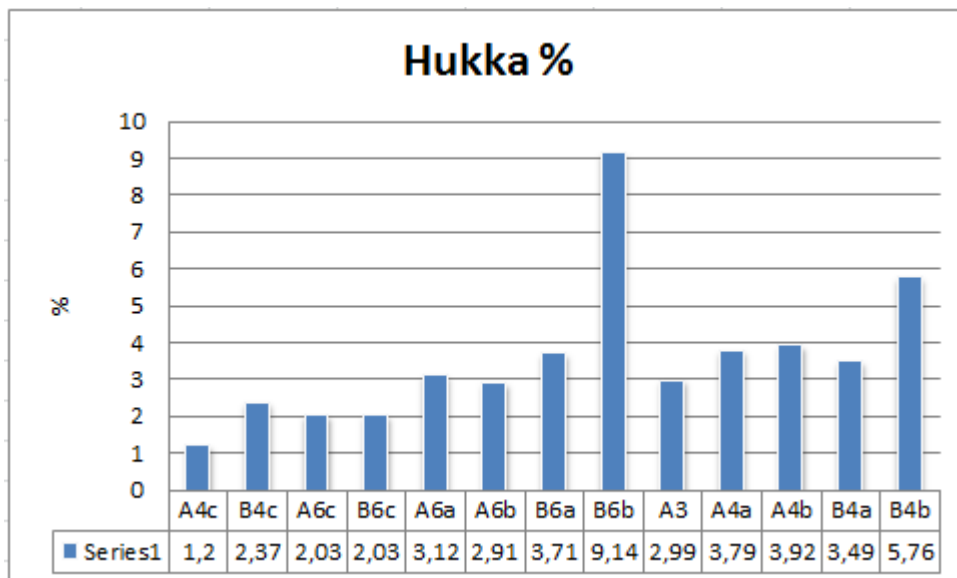
KUVA 58. Kaikkien vaahdotuskokeiden rautaoksidi-pitoisuudet

Vaahdotuskokeiden kuivat syötteet, jätteet ja rikasteet punnittiin ja kaikki punnitukset kirjattiin ylös. Näiden punnitustulosten perusteella piirrettiin kuvaaja rikasteen ja jätteen suhteen. Kaikkien vaahdotuskokeiden rikasteen ja jätteen suhteet ovat nähtävissä kuvasta 59. Kuvaajasta 59 näkee kuinka kertausvaahdotukset A4c, B4c, A6c ja B6c tuottivat todella vähän jätettä suhteessa rikasteen määrään. Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion vaahdotuskokeet A3 ja A4a tuottivat osion vähiten jätettä. Vaahdotuskokeet A4b ja B4a tuottivat rikastetta ja jätettä saman verran. Vaahdotuskoe B4b oli ainoa vaahdotuskoe, joka tuotti enemmän jätettä kuin rikastetta. Kaikissa kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteen testaus-vaahdotuskokeissa jätettä syntyi aina vähintään puolet vähemmän kuin rikastetta.

Syötteen, rikasteen ja jätteen punnituksien perusteella laskettiin vaahdotuskokeiden malmin hukkaprosentti. Hukkaprosentti määritettiin lähinnä virhearvioinnin vuoksi. Vaahdotuskokeiden hukkaprosentit ovat nähtävissä kuvasta 60. Hukkaprosentti osoittautui niin pieneksi, ettei sillä ole merkitystä tulosten kannalta. Opinnäytetyön tuloksia varten pyydettiin laskemaan vaahdotuskokeiden saannit myös massan perusteella. Vaahdotuskokeiden saannit massan pohjalta laskettuna eivät kuitenkaan sijoittuneet 0–100 välille, joten saannit eivät olleet määritettävissä.



KUVA 59. Vaahdotuskokeiden rikasteen ja jätteen suhde



KUVA 60. Vaahdotuskokeiden hukkaprosentit

## 8 LOPPUPÄÄTELMÄT

Vaahdotuskokeita suoritettiin tässä opinnäytetyössä yhteensä 13 kappaletta, joista 7 tehtiin Syväjärven malmille ja 6 Längän malmille. Kaikki vaahdotuskokeet suoritettiin samoissa olosuhteissa, kuten aikaisemmin mainittiin. Vaahdotuskokeiden vakio-olosuhteet mahdollistivat tulosten vertailukelpoisuuden toisiinsa sekä edeltävän opinnäytetyön tuloksiin. Vaahdotuskokeet jaoteltiin kolmeen eri osioon, jotka ovat kertausvaahdotukset, kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja lasku sekä kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus. Kokoojakemikaaliannoksen nosto- ja laskuvaahdotuskokeissa oli 5 vaahdotuskoetta ja lopuissa 4.

Opinnäytetyön ensimmäiset koevaahdotukset eli kertausvaahdotukset tuottivat huonoja tuloksia. Kertausvaahdotusten tarkoituksena oli kerrata vaahdotus edeltävän opinnäytetyön vaahdotuksista saaduilla rikasteilla. Kertausvaahdotusosioon sisältyivät vaahdotuskokeet A4c, B4c, A6c ja B6c. Vaahdotuskokeissa A4c ja B4c testattiin kokoojakemikaalia Armac T annostuksella 300 g/t. Vaahdotuskokeissa A6c ja B6c käytettiin kokoojakemikaaliyhdistettä, joka koostui AERO 3030C:stä ja AERO 825:stä. Kokoojakemikaali yhdisteen annoksena käytettiin 150/150 g/t.

Kaikki kertausvaahdotukset tuottivat todella pienen määrän jätettä, mutta täytyy huomioida vaahdotuksien olleen kertausvaahdotukset. Toisaalta edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeen A4 ja B4 kvartsin saanti oli 33–37 %, joten kvartsia pitäisi olla jäljellä vaahdotuksissa A4c ja B4c. Vaahdotuskoe B4c oli ainut kertausvaahdotus mistä saatiin laskettua saanti. Vaahdotuskokeen kvartsin saanti jäi kuitenkin vain 10 prosenttiin. Edeltävän opinnäytetyön vaahdotuskokeiden A6 ja B6 kvartsin saanti oli vain 15-25 %, joten kvartsia pitäisi olla jäljellä kertausvaahdotukseen. Kertausvaahdotuksien kokoojat eivät selvästikään ole tarpeeksi selektiivisiä, koska ne vaahdottavat myös kvartsin. Pitoisuuserot laskevat myös huomattavasti, kun kokooja vaahdottaa myös kvartsin. Kyseisille vaahdotuksille kannattaisi miettiä oikeanlaista painajaa kvartsille, jotta kvartsi pysyisi jätteessä.

Kokoojakemikaaliannoksen nosto- ja laskuosion vaahdotuskokeista saatiin hyviä tuloksia. Kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion vaahdotuskokeisiin sisältyivät vaahdotuskokeet A3, A4a, A4b, B4a ja B4b. Edeltävässä opinnäytetyössä testattiin kokoojakemikaaleja annostuksella 300 g/t. Tässä osiossa testattiin kokoojakemikaaleja annostuksilla 200 g/t sekä 500 g/t. Koevaahdotuksessa A3 testattiin kokoojakemikaalia Armac C annostuksella 500 g/t. Vaahdotuskokeissa A4a ja B4a



testattiin Armac T-kokoojakemikaalia annostuksella 500 g/t. Vaahdotuskokeissa A4b ja B4b testattiin myös Armac T-kokoojaa annostuksella 200 g/t.

Kaikki kokoojakemikaalin annoksen nosto- ja laskuosion vaahdotukset tuottivat toivottuja pitoisuuseroja syötteen, rikasteen ja jätteen välille. Vaahdotuskoe A3 tuotti hyviä pitoisuuseroja sekä hyvät saannit. Vertailtaessa edeltävän opinnäytetyön saanteihin kvartsin saanti laski 10 %, mutta kaikkien maasälpien saannit nousivat 15–25 %. Saantien perusteella voidaan todeta, että kokoojakemikaali Armac T toimi hieman paremmin kokoojana annostuksella 500 g/t kuin annostuksella 300 g/t. Osion kaikissa lopuissa vaahdotuksissa käytettiin kokoojaa Armac T. Kaikki Armac T:llä tehdyt vaahdotuskokeet tuottivat hyvät pitoisuuserot ja saannit. Syväjärven malmin ja Läntän malmin vaahdotuksen saanneissa huomasi selviä eroja. Saanneista voi päätellä että kummallakin kokoojakemikaaliannostuksella Läntän malmi vaahtosi huonommin kuin Syväjärven malmi. Malmien ainoa mahdollinen ero on, että Syväjärven malmi on kairattua syvämalma ja Läntän malmi pinnalta louhittua pintamalmia. Pintamalmissa on mahdollisuus, että malmi on päässyt hapettumaan. Vertailtaessa pienempää ja suurempaa kokoojakemikaalien annostusta keskenään, huomataan helposti Armac T-kokoojan vaikutus saanteihin. Kokoojakemikaalin annostusta suurentaessa maasälpien saannit kasvavat, mutta kvartsin saanti tippuu. Kokoojakemikaalin annostusta pienentäessä maasälpien saannit pienenevät, mutta kvartsin saanti kasvaa. Kokoojakemikaalin annostusta pienentäessä myös jätteen määrä kasvoi. Vertailtaessa edeltävän opinnäytetyön ja tämän opinnäytetyön saanteja keskenään voidaan huomata, että kokoojakemikaalin Armac T:n annostus suhteessa rikasteeseen on hyvin lineaarinen.

Kaikissa kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteen testausosion vaahdotuskokeissa testattiin AERO 3030C- ja AERO 825 kokoojakemikaalin yhdistelmää. Osioon sisältyivät koevaahdotukset A6a, A6b, B6a ja B6b. Edeltävässä opinnäytetyössä testattiin kokoojakemikaaliyhdisteen suhdetta 150/150 g/t. Tämän opinnäytetyön osion tarkoitus on testata saman kokoojakemikaaliyhdistelmän eri suhteita. Vaahdotuksia tehtiin 2 kpl Läntän malmille ja 2 kpl Syväjärven malmille, joissa testattiin molemmille kokoojakemikaalin suhteita 100/200 g/t ja 200/100 g/t. Vaahdotuskokeet A6a ja B6a tehtiin kokoojakemikaaliyhdisteen suhteella 100/200 g/t ja vaahdotuskokeet A6b ja B6b suhteella 200/100 g/t.

Kaikki kokoojakemikaaliyhdisteen eri suhteen testausosion vaahdotuskokeet toimivat ja tuottivat haluttuja pitoisuuseroja sekä saanteja. Kyseisellä kokoojakemikaaliyhdisteellä tehtyjen vaahdotuskokeiden saantien perusteella Läntän malmi vaahtosi hieman paremmin kuin Syväjärven malmi. Kokoojakemikaalin suhteen muuttaminen vaikutti selvästi saantoihin. Suhteella 100/200 g/t

kvartin saanti oli hieman suurempi ja maasälpien saannit hieman pienemmän kuin suhteella 200/100 g/t. Kaikkien vaahdotuskokeiden maasälpien sekä saannit olivat suhteellisen korkeat. Suhteen muuttaminen 100/200 g/t suhteeseen 200 g/t laski kvartsin saantia 21 %, ja nosti maasälpien saantia 3–13 % Syväjärven malmilla. Suhteen muuttaminen 100/200 g/t suhteeseen 200 g/t laski Längen malmin vaahdotuskokeiden kvartsin saantia 27 %, ja nosti maasälpien saanteja 13–14 %. Kokoojakemikaaliyhdisteen suhteella 100/200 g/t tehdyissä vaahdotuskokeissa syntyi myös 2–3 kertaa enemmän jätettä. Jätteen määristä voidaan päätellä, että suhde 200/100 g/t vaahdotosi huomattavasti voimakkaammin. Vertailtaessa edeltävän opinnäytetyön ja tämän opinnäytetyön tuloksia on huomattavissa, ettei saantien muutos kokoojakemikaaliyhdisteen suhteeseen ole lineaarinen.

## LÄHTEET

- Bulatovic, Srdjan M. 2015. Handbook of flotation reagents, volume 3. chemistry, theory and practice : flotation of industrial minerals, Elsevier.
- Grönholm, S, Alviola, R, Kinnunen, K, Kojonen, K, Kärkkäinen, N & Mäkitie, H. 2009. Retkeilijän Kiviopas. Geologian tutkimuskeskus. 2.painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Greval, I. 2016. Mineral processing introduction. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://metsovelabs.com/library/articles/mineral-processing-introduction>. Viitattu: 11.4.2016.
- Kawatra, S. Komar 2011. Fundamentals Principles of Froth Flotation, Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Keliber. 2013. Historia. Www- dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/historia>. Viitattu: 24.4.2016.
- Keliber. 2015. Länttä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/laanta>. Viitattu: 16.4.2016.
- Lukkarinen, T & Insinööritieto Oy. 1987. Mineraalitekniikka Osa 2 Mineraalien rikastus. Helsinki: Insinööritieto Oy.
- Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. 2007. Saatavissa: Lsy-2006-y-348-päätös. Pdf-dokumentti. Viitattu: 7.4.2016.
- Siren, O. 2015. Keliber esittely. Powerpoint-diat. Saatu Keliber Oy:ltä 20.1.2015.
- Suomen Geologinen Seura. Martti Lehtinen, Pekka Nurmi ja Tapani Rämö (toim.) 1998, Suomen kallioperä- 3000 vuosimiljoonaa, Luku 2, Geologian peruskäsitteitä. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.geologinenseura.fi/suomenkalliopera/CH2.pdf>. Viitattu: 29.3.2016.
- Silver, A. 2016. Www- dokumentti. Saatavissa: <http://geology.com/minerals/spodumene.shtml>. Viitattu: 15.4.2016.
- Wills', B & Napier-Munn, T. 1979. Mineral Processing Technology. 7. painos. IsoBritannia: Butterworth-Heinemann.

## LIITE 1

Kertauvaahdotukset								
					Saanti (jätteessä)	Saanti (rikastees	Saanti (rikasteessa	Saanti (rikasteessa)
Näytetunnus	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
A4c / S	76,9	13,8	5,06	3,64	54,4373148	0	0	0
A4c / R	73,7	13,4	4,98	3,48				
A4c / J	79,8	11,0	4,35	2,38				
B4c / S	75,2	14,7	5,67	3,75	10,21634615	91,48486981	95,08402765	93,64814815
B4c / R	74,7	15,0	5,72	3,89				
B4c / J	79,9	12,1	4,85	2,45				
A6c / S	75,8	14,5	5,16	3,84	0	0	0	114,9967784
A6c / R	76,5	14,0	5,16	3,63				
A6c / J	81,6	10,9	4,19	2,66				
B6c / S	77,0	13,6	5,33	3,38	0	0	0	0
B6c / R	77,3	13,5	5,30	3,29				
B6c / J	77,6	13,3	5,20	3,11				
Kokoojakemikaalin annoksen nostaminen ja laskeminen								
					Saanti (jätteessä)	Saanti (rikastees	Saanti (rikasteessa	Saanti (rikasteessa)
Näytetunnus	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
A3 / S	77,8	13,3	4,82	3,49	38,04391406	75,94878727	78,56756269	77,4941391
A3 / R	74,0	15,7	5,36	4,25				
A3 / J	84,9	8,97	3,52	2,16				
A4a / S	77,8	13,3	4,83	3,48	12,08848163	91,87157082	88,00841515	93,75
A4a / R	77,1	13,7	5,02	3,60				
A4a / J	83,3	10,0	3,78	2,32				
A4b / S	77,8	13,3	4,83	3,51	52,37912794	63,45061126	51,01078961	70,58287796
A4b / R	72,7	16,5	5,51	4,65				
A4b / J	83,1	9,95	4,28	2,21				
B4a / S	78,0	13,1	5,13	3,18	46,77884615	67,24696579	62,90372955	72,95901316
B4a / R	73,8	15,5	5,96	4,07				
B4a / J	83,4	9,94	4,15	2,00				
B4b / S	78,0	13,0	5,15	3,16	67,91468119	45,53167421	43,28331862	56,05063291
B4b / R	70,7	17,5	6,13	4,92				
B4b / J	82,0	10,7	4,59	2,17				
Kokoojakemikaali yhdisteen eri suhteen testaus.								
					Saanti (jätteessä)	Saanti (rikastees	Saanti (rikasteessa	Saanti (rikasteessa)
Näytetunnus	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
A6a / S	77,8	13,3	4,81	3,50	43,64776579	78,14178303	73,57859532	83,28168383
A6a / R	71,7	17,0	5,92	4,72				
A6a / J	87,4	7,48	3,16	1,53				
A6b / S	77,7	13,4	4,86	3,51	22,16380514	86,33476218	86,89721029	86,76207513
A6b / R	75,8	14,6	5,20	3,88				
A6b / J	85,2	8,82	3,39	2,16				
B6a / S	78,0	13,1	5,15	3,18	32,7821711	80,51049618	77,56672218	84,78121952
B6a / R	74,8	15,0	5,93	3,68				
B6a / J	85,5	8,60	3,54	1,81				
B6b / S	78,0	13,0	5,10	3,17	5,721153846	94,76923077	90,75980392	97,27316473
B6b / R	77,7	13,2	5,29	3,22				
B6b / J	83,3	10,2	3,77	2,04				

## LIITE 2/1

Laboratorion näytetunnus	Tilaajan näytetunnus	SiO <sub>2</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	FeO %	MnO %	MgO %
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16025096	A4c / S	76,9	0,002	13,8	0,002	<0.002	0,12	0,004	<0.02
L16025097	A4c / R	73,7	0,002	13,4	0,003	<0.002	2,52	0,004	<0.02
L16025098	A4c / J	79,8	<0.002	11,0	0,005	<0.002	0,97	0,010	0,26
L16025099	B4c / S	75,2	0,003	14,7	<0.002	<0.002	0,15	0,005	0,03
L16025100	B4c / R	74,7	0,004	15,0	0,003	<0.002	0,16	0,004	<0.02
L16025101	B4c / J	79,9	0,002	12,1	0,005	<0.002	0,17	0,009	0,08
L16025102	A6c / S	75,8	0,005	14,5	0,003	<0.002	0,19	0,006	0,02
L16025103	A6c / R	76,5	0,004	14,0	0,004	<0.002	0,16	0,004	0,02
L16025104	A6c / J	81,6	0,003	10,9	0,006	<0.002	0,14	0,005	0,02
L16025105	B6c / S	77,0	0,002	13,6	0,002	<0.002	0,14	0,004	0,03
L16025106	B6c / R	77,3	0,002	13,5	0,004	<0.002	0,13	0,005	0,03
L16025107	B6c / J	77,6	0,003	13,3	0,004	<0.002	0,17	0,007	0,06
L16025108	A6a / S	77,8	0,002	13,3	<0.002	<0.002	0,13	0,004	<0.02
L16025109	A6a / R	71,7	0,002	17,0	0,002	<0.002	0,16	0,005	<0.02
L16025110	A6a / J	87,4	<0.002	7,48	0,002	<0.002	0,06	<0.001	<0.02
L16025111	A6b / S	77,7	0,002	13,4	0,002	<0.002	0,13	0,005	<0.02
L16025112	A6b / R	75,8	0,003	14,6	0,002	<0.002	0,15	0,005	<0.02
L16025113	A6b / J	85,2	<0.002	8,82	0,003	<0.002	0,10	0,001	<0.02
L16025114	B6a / S	78,0	0,004	13,1	<0.002	<0.002	0,13	0,005	0,03
L16025115	B6a / R	74,8	0,004	15,0	<0.002	<0.002	0,14	0,005	0,04
L16025116	B6a / J	85,5	<0.002	8,60	0,003	<0.002	0,09	0,003	0,04
L16025117	B6b / S	78,0	0,002	13,0	0,002	<0.002	0,13	0,004	0,04
L16025118	B6b / R	77,7	0,002	13,2	0,003	<0.002	0,12	0,004	0,03
L16025119	B6b / J	83,3	0,002	10,2	0,003	<0.002	0,18	0,013	0,10
L16025120	A3 / S	77,8	0,002	13,3	<0.002	<0.002	0,13	0,006	<0.02
L16025121	A3 / R	74,0	0,004	15,7	0,003	<0.002	0,18	0,006	<0.02
L16025122	A3 / J	84,9	<0.002	8,97	0,003	<0.002	0,08	0,004	<0.02
L16025123	A4a / S	77,8	<0.002	13,3	0,002	<0.002	0,13	0,006	<0.02
L16025124	A4a / R	77,1	<0.002	13,7	0,003	<0.002	0,14	0,004	<0.02
L16025125	A4a / J	83,3	<0.002	10,0	0,003	<0.002	0,12	0,007	<0.02
L16025126	A4b / S	77,8	0,002	13,3	<0.002	<0.002	0,13	0,005	<0.02
L16025127	A4b / R	72,7	0,005	16,5	0,003	<0.002	0,20	0,006	<0.02
L16025128	A4b / J	83,1	<0.002	9,95	0,002	<0.002	0,06	0,004	<0.02
L16025129	B4a / S	78,0	0,002	13,1	0,002	<0.002	0,14	0,005	0,04
L16025130	B4a / R	73,8	0,003	15,5	0,003	<0.002	0,15	0,005	0,02
L16025131	B4a / J	83,4	<0.002	9,94	0,003	<0.002	0,10	0,004	0,04
L16025132	B4b / S	78,0	0,003	13,0	0,002	<0.002	0,14	0,005	0,03
L16025133	B4b / R	70,7	0,006	17,5	0,004	<0.002	0,24	0,007	0,03
L16025134	B4b / J	82,0	<0.002	10,7	0,002	<0.002	0,09	0,004	0,04

## LIITE 2/2

Laboratorion	Tilaajan	CaO	Rb2O	SrO	BaO	Na2O	K2O	ZrO2	P2O5
näytetunnus	näytetunnus	%	%	%	%	%	%	%	%
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16025096	A4c / S	0,112	0,055	0,003	0,003	5,06	3,64	0,002	0,144
L16025097	A4c / R	0,121	0,054	0,002	0,008	4,98	3,48	0,002	0,140
L16025098	A4c / J	0,365	0,035	0,002	0,088	4,35	2,38	0,002	0,133
L16025099	B4c / S	0,181	0,090	0,003	0,005	5,67	3,75	0,002	0,056
L16025100	B4c / R	0,176	0,093	0,003	0,003	5,72	3,89	0,002	0,059
L16025101	B4c / J	0,193	0,049	0,003	0,006	4,85	2,45	0,002	0,045
L16025102	A6c / S	0,120	0,059	0,003	0,004	5,16	3,84	0,002	0,140
L16025103	A6c / R	0,121	0,058	0,002	0,002	5,16	3,63	0,001	0,142
L16025104	A6c / J	0,107	0,041	0,002	0,002	4,19	2,66	0,001	0,118
L16025105	B6c / S	0,175	0,080	0,003	0,004	5,33	3,38	0,002	0,051
L16025106	B6c / R	0,173	0,074	0,003	0,005	5,30	3,29	0,002	0,053
L16025107	B6c / J	0,189	0,067	0,003	0,004	5,20	3,11	0,002	0,049
L16025108	A6a / S	0,109	0,056	0,002	0,005	4,81	3,50	0,002	0,137
L16025109	A6a / R	0,116	0,078	0,003	0,003	5,92	4,72	0,001	0,162
L16025110	A6a / J	0,063	0,020	0,001	0,002	3,16	1,53	0,002	0,083
L16025111	A6b / S	0,109	0,058	0,002	0,003	4,86	3,51	0,001	0,139
L16025112	A6b / R	0,109	0,065	0,002	0,004	5,20	3,88	0,001	0,145
L16025113	A6b / J	0,072	0,033	0,001	0,005	3,39	2,16	0,001	0,098
L16025114	B6a / S	0,182	0,076	0,003	0,004	5,15	3,18	0,001	0,049
L16025115	B6a / R	0,201	0,087	0,003	0,006	5,93	3,68	0,002	0,056
L16025116	B6a / J	0,133	0,038	0,002	0,005	3,54	1,81	0,001	0,037
L16025117	B6b / S	0,181	0,072	0,003	0,006	5,10	3,17	0,002	0,048
L16025118	B6b / R	0,174	0,075	0,003	0,005	5,29	3,22	0,002	0,049
L16025119	B6b / J	0,174	0,042	0,003	0,004	3,77	2,04	0,002	0,035
L16025120	A3 / S	0,109	0,056	0,002	0,004	4,82	3,49	0,001	0,139
L16025121	A3 / R	0,105	0,070	0,003	0,006	5,36	4,25	0,002	0,144
L16025122	A3 / J	0,074	0,033	0,001	0,003	3,52	2,16	0,001	0,098
L16025123	A4a / S	0,112	0,058	0,002	0,002	4,83	3,48	0,001	0,142
L16025124	A4a / R	0,107	0,056	0,002	0,004	5,02	3,60	0,001	0,143
L16025125	A4a / J	0,096	0,032	0,002	0,004	3,78	2,32	0,002	0,120
L16025126	A4b / S	0,111	0,053	0,002	0,004	4,83	3,51	0,002	0,139
L16025127	A4b / R	0,102	0,074	0,003	0,004	5,51	4,65	0,002	0,154
L16025128	A4b / J	0,092	0,033	0,001	0,001	4,28	2,21	0,001	0,115
L16025129	B4a / S	0,181	0,076	0,003	0,006	5,13	3,18	0,001	0,049
L16025130	B4a / R	0,187	0,099	0,003	0,005	5,96	4,07	0,001	0,060
L16025131	B4a / J	0,159	0,042	0,002	0,006	4,15	2,00	0,001	0,039
L16025132	B4b / S	0,180	0,075	0,002	0,004	5,15	3,16	0,002	0,049
L16025133	B4b / R	0,196	0,125	0,004	0,006	6,13	4,92	0,002	0,064
L16025134	B4b / J	0,170	0,047	0,002	0,002	4,59	2,17	0,002	0,041

## LIITE 2/3

Laboratorion	Tilaajan	CO2	Cu	Ni	Co	Zn	Pb	Ag	S
näytetunnus	näytetunnus	%	%	%	%	%	%	%	%
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16025096	A4c / S		0,001	0,002	0,009	0,002	0,010	0,001	0,005
L16025097	A4c / R		0,084	0,002	0,032	0,038	0,009	0,001	2,10
L16025098	A4c / J		0,035	0,004	0,031	0,016	0,011	<0,001	0,70
L16025099	B4c / S		<0,001	0,002	0,032	0,003	0,009	0,001	0,005
L16025100	B4c / R		0,001	0,002	0,018	0,004	0,008	0,001	0,018
L16025101	B4c / J		0,002	0,003	0,029	0,004	0,009	0,001	0,013
L16025102	A6c / S		<0,001	0,002	0,017	0,002	0,011	0,001	0,007
L16025103	A6c / R		<0,001	0,002	0,031	0,002	0,009	0,001	0,009
L16025104	A6c / J		0,002	0,003	0,030	0,003	0,008	0,001	0,010
L16025105	B6c / S		<0,001	0,002	0,032	0,004	0,007	0,001	0,004
L16025106	B6c / R		<0,001	0,002	0,027	0,003	0,008	0,001	0,009
L16025107	B6c / J		0,002	0,002	0,030	0,004	0,010	0,001	0,014
L16025108	A6a / S		<0,001	0,002	0,032	0,002	0,009	0,001	0,002
L16025109	A6a / R		<0,001	0,003	0,030	0,003	0,009	0,001	0,007
L16025110	A6a / J		<0,001	0,002	0,022	0,001	0,010	0,002	0,003
L16025111	A6b / S		<0,001	0,003	0,027	0,002	0,007	0,002	0,002
L16025112	A6b / R		<0,001	0,003	0,013	0,003	0,007	0,001	0,007
L16025113	A6b / J		<0,001	0,003	0,012	0,002	0,006	0,002	0,006
L16025114	B6a / S		<0,001	0,002	0,010	0,003	0,006	0,002	0,002
L16025115	B6a / R		0,001	0,003	0,011	0,004	0,008	0,001	0,009
L16025116	B6a / J		<0,001	0,003	0,029	0,002	0,007	0,001	0,005
L16025117	B6b / S		<0,001	0,002	0,032	0,003	0,009	0,001	0,001
L16025118	B6b / R		<0,001	0,002	0,032	0,003	0,008	0,002	0,005
L16025119	B6b / J		0,001	0,003	0,020	0,003	0,008	0,001	0,004
L16025120	A3 / S		<0,001	0,002	0,030	0,002	0,009	0,001	0,002
L16025121	A3 / R		<0,001	0,003	0,015	0,003	0,010	0,001	0,006
L16025122	A3 / J		<0,001	0,003	0,023	0,001	0,007	0,001	0,004
L16025123	A4a / S		<0,001	0,002	0,012	0,001	0,007	0,002	0,002
L16025124	A4a / R		0,001	0,003	0,011	0,002	0,009	0,001	0,011
L16025125	A4a / J		0,001	0,003	0,016	0,002	0,010	0,001	0,010
L16025126	A4b / S		<0,001	0,003	0,016	0,002	0,010	0,001	0,002
L16025127	A4b / R		<0,001	0,003	0,016	0,003	0,011	0,001	0,014
L16025128	A4b / J		<0,001	0,002	0,028	0,001	0,006	0,002	0,007
L16025129	B4a / S		<0,001	0,002	0,012	0,003	0,006	0,002	0,002
L16025130	B4a / R		<0,001	0,002	0,015	0,004	0,006	0,002	0,005
L16025131	B4a / J		<0,001	0,003	0,009	0,002	0,005	0,001	0,004
L16025132	B4b / S		<0,001	0,002	0,009	0,003	0,007	0,002	0,002
L16025133	B4b / R		<0,001	0,003	0,013	0,005	0,006	0,002	0,002
L16025134	B4b / J		<0,001	0,002	0,009	0,002	0,006	0,002	0,003

## LIITE 2/4

Laboratorion	Tilaaajan	As	Sb	Bi	Te	Y	Nb	Mo	Sn
näytetunnus	näytetunnus	%	%	%	%	%	%	%	%
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16025096	A4c / S	<0.003	<0.005	<0.005	0,005	0,0020	0,0030	<0.002	0,002
L16025097	A4c / R	<0.003	0,009	<0.005	0,005	0,0014	0,0027	<0.002	0,003
L16025098	A4c / J	<0.003	0,007	<0.005	0,004	<0.001	0,0023	<0.002	0,002
L16025099	B4c / S	<0.003	0,007	0,005	0,004	0,0027	0,0031	<0.002	0,002
L16025100	B4c / R	<0.003	0,007	0,005	0,004	0,0029	0,0033	<0.002	0,002
L16025101	B4c / J	<0.003	<0.005	0,007	0,006	0,0015	0,0037	0,002	<0.002
L16025102	A6c / S	<0.003	<0.005	<0.005	0,006	0,0014	0,0033	<0.002	0,002
L16025103	A6c / R	<0.003	0,007	<0.005	0,004	0,0013	0,0025	<0.002	0,003
L16025104	A6c / J	<0.003	0,007	<0.005	0,004	0,0010	0,0025	<0.002	0,002
L16025105	B6c / S	<0.003	0,007	0,005	0,004	0,0021	0,0027	<0.002	0,002
L16025106	B6c / R	<0.003	0,006	0,005	0,005	0,0025	0,0029	<0.002	<0.002
L16025107	B6c / J	<0.003	<0.005	0,005	0,005	0,0011	0,0033	<0.002	<0.002
L16025108	A6a / S	<0.003	0,007	<0.005	0,004	0,0016	0,0026	<0.002	0,003
L16025109	A6a / R	<0.003	0,007	<0.005	0,004	0,0021	0,0028	<0.002	0,004
L16025110	A6a / J	<0.003	<0.005	<0.005	0,005	<0.001	0,0026	<0.002	<0.002
L16025111	A6b / S	<0.003	0,009	<0.005	0,002	0,0015	0,0021	<0.002	0,004
L16025112	A6b / R	<0.003	0,009	<0.005	0,002	0,0021	0,0025	<0.002	0,005
L16025113	A6b / J	<0.003	0,01	<0.005	0,002	0,0014	0,0015	<0.002	0,003
L16025114	B6a / S	<0.003	0,009	0,005	0,002	0,0024	0,0028	<0.002	0,002
L16025115	B6a / R	<0.003	<0.005	0,005	0,004	0,0023	0,0030	<0.002	0,002
L16025116	B6a / J	<0.003	0,007	0,005	0,004	<0.001	0,0026	<0.002	0,002
L16025117	B6b / S	<0.003	<0.005	0,005	0,005	0,0019	0,0035	<0.002	<0.002
L16025118	B6b / R	<0.003	0,006	0,005	0,004	0,0015	0,0025	<0.002	0,002
L16025119	B6b / J	<0.003	0,006	0,006	0,004	<0.001	0,0027	<0.002	<0.002
L16025120	A3 / S	<0.003	0,007	<0.005	0,005	0,0011	0,0026	<0.002	0,003
L16025121	A3 / R	<0.003	<0.005	<0.005	0,005	0,0027	0,0033	<0.002	0,004
L16025122	A3 / J	<0.003	0,009	<0.005	0,002	<0.001	0,0020	<0.002	0,003
L16025123	A4a / S	<0.003	0,009	<0.005	0,002	0,0014	0,0019	<0.002	0,004
L16025124	A4a / R	<0.003	<0.005	<0.005	0,005	<0.001	0,0025	<0.002	0,002
L16025125	A4a / J	<0.003	<0.005	<0.005	0,005	<0.001	0,0025	<0.002	0,002
L16025126	A4b / S	<0.003	<0.005	<0.005	0,005	0,0017	0,0028	<0.002	<0.002
L16025127	A4b / R	<0.003	<0.005	<0.005	0,006	0,0010	0,0040	<0.002	0,002
L16025128	A4b / J	<0.003	0,009	<0.005	0,002	0,0010	0,0016	<0.002	0,003
L16025129	B4a / S	<0.003	0,009	0,005	0,002	0,0025	0,0024	<0.002	0,002
L16025130	B4a / R	<0.003	0,009	0,005	0,003	0,0035	0,0028	<0.002	0,003
L16025131	B4a / J	<0.003	0,008	0,006	0,002	0,0013	0,0022	<0.002	0,003
L16025132	B4b / S	<0.003	0,009	0,005	0,002	0,0022	0,0023	<0.002	0,003
L16025133	B4b / R	<0.003	0,009	0,005	0,002	0,0048	0,0029	<0.002	0,003
L16025134	B4b / J	<0.003	0,008	0,005	0,003	0,0015	0,0023	<0.002	0,003



## LIITE 2/5

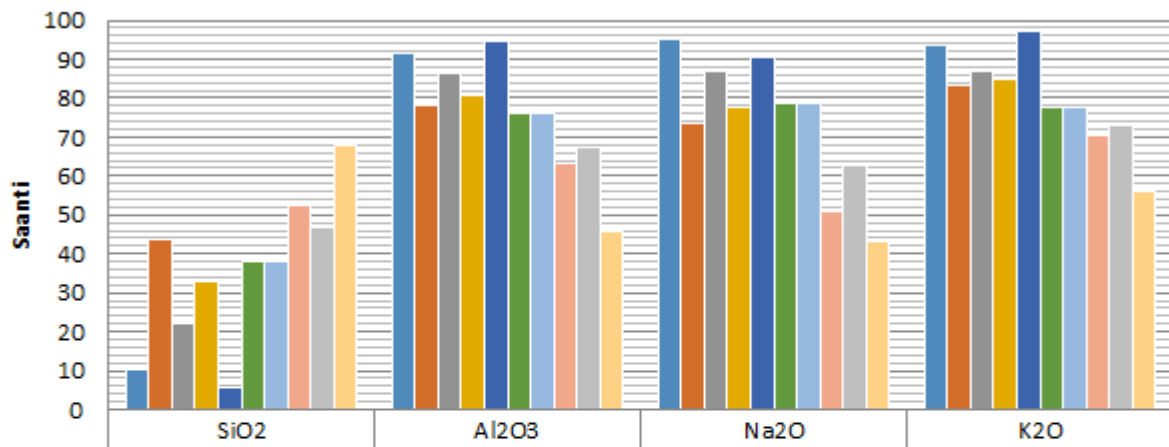
Laboratorion	Tilaajan	W	Ga	Cl	Th	U	Cs	La	Ce
näytetunnus	näytetunnus	%	%	%	%	%	%	%	%
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16025096	A4c / S	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	0,004	0,003	0,001
L16025097	A4c / R	<0.002	<0.003	0,007	<0.001	<0.0005	0,004	0,003	<0.001
L16025098	A4c / J	<0.002	<0.003	0,006	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	<0.001
L16025099	B4c / S	<0.002	0,0036	0,004	<0.001	<0.0005	0,004	0,001	<0.001
L16025100	B4c / R	<0.002	0,0036	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,002	0,001
L16025101	B4c / J	<0.002	0,003	0,004	<0.001	<0.0005	0,002	0,003	<0.001
L16025102	A6c / S	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	0,004	0,001	0,001
L16025103	A6c / R	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	0,005	0,003	0,001
L16025104	A6c / J	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	0,003	0,002	0,001
L16025105	B6c / S	<0.002	0,0032	0,003	<0.001	<0.0005	0,002	0,003	<0.001
L16025106	B6c / R	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,001	<0.001
L16025107	B6c / J	<0.002	0,0034	0,005	<0.001	<0.0005	0,004	0,002	0,001
L16025108	A6a / S	<0.002	<0.003	0,005	<0.001	<0.0005	0,003	0,001	0,001
L16025109	A6a / R	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,006	0,002	<0.001
L16025110	A6a / J	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	<0.001	0,003	<0.001
L16025111	A6b / S	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	0,004	0,002	<0.001
L16025112	A6b / R	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,002	<0.001
L16025113	A6b / J	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005	0,004	0,003	<0.001
L16025114	B6a / S	<0.002	0,0035	0,002	<0.001	<0.0005	0,005	0,001	<0.001
L16025115	B6a / R	<0.002	0,0032	<0.002	<0.001	<0.0005	0,004	0,002	0,001
L16025116	B6a / J	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,002	0,003	<0.001
L16025117	B6b / S	<0.002	0,0031	0,003	<0.001	<0.0005	0,003	0,002	<0.001
L16025118	B6b / R	<0.002	0,003	0,002	<0.001	<0.0005	0,002	0,002	0,001
L16025119	B6b / J	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	0,001
L16025120	A3 / S	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005	0,002	0,003	0,001
L16025121	A3 / R	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,004	<0.001
L16025122	A3 / J	<0.002	<0.003	<0.002	<0.001	<0.0005	0,003	0,001	<0.001
L16025123	A4a / S	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	0,001
L16025124	A4a / R	<0.002	<0.003	<0.002	<0.001	<0.0005	0,003	0,001	<0.001
L16025125	A4a / J	<0.002	<0.003	0,005	<0.001	<0.0005	0,002	0,004	0,001
L16025126	A4b / S	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	0,001
L16025127	A4b / R	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005	0,004	0,003	<0.001
L16025128	A4b / J	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	0,001
L16025129	B4a / S	<0.002	0,003	0,003	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	<0.001
L16025130	B4a / R	<0.002	0,0035	0,003	<0.001	<0.0005	0,004	0,003	0,001
L16025131	B4a / J	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	<0.001
L16025132	B4b / S	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005	0,003	0,002	<0.001
L16025133	B4b / R	<0.002	0,0043	0,004	<0.001	<0.0005	0,005	0,003	0,001
L16025134	B4b / J	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005	0,003	0,003	0,001

Laboratorion	Tilaajan	Ta	OxSum m	Si	Ti	Cr	V
näytetunnus	näytetunnus	%	%	%	%	%	%
		180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16025096	A4c / S	0,001	99,90	36,0	0,001	0,001	<0.001
L16025097	A4c / R	0,003	99,70	34,4	0,001	0,002	<0.001
L16025098	A4c / J	0,001	99,80	37,3	<0.001	0,003	0,001
L16025099	B4c / S	0,002	100,00	35,2	0,002	0,001	0,001
L16025100	B4c / R	0,001	100,00	34,9	0,002	0,002	<0.001
L16025101	B4c / J	0,002	99,90	37,3	0,001	0,003	<0.001
L16025102	A6c / S	0,002	99,90	35,4	0,003	0,002	0,001
L16025103	A6c / R	0,003	99,90	35,7	0,003	0,003	0,001
L16025104	A6c / J	0,002	99,90	38,1	0,002	0,004	<0.001
L16025105	B6c / S	0,001	99,90	36,0	0,001	0,001	0,001
L16025106	B6c / R	0,002	99,90	36,1	0,001	0,002	<0.001
L16025107	B6c / J	0,001	99,90	36,3	0,002	0,002	<0.001
L16025108	A6a / S	0,002	99,90	36,4	0,001	0,001	0,001
L16025109	A6a / R	0,002	99,90	33,5	0,001	0,001	<0.001
L16025110	A6a / J	0,002	99,90	40,9	<0.001	0,001	<0.001
L16025111	A6b / S	0,002	100,00	36,3	0,001	0,001	<0.001
L16025112	A6b / R	0,001	100,00	35,4	0,002	0,001	0,001
L16025113	A6b / J	0,002	99,90	39,8	<0.001	0,002	<0.001
L16025114	B6a / S	0,001	100,00	36,5	0,002	0,001	0,001
L16025115	B6a / R	0,002	100,00	35,0	0,002	0,001	<0.001
L16025116	B6a / J	0,001	99,90	40,0	<0.001	0,002	0,001
L16025117	B6b / S	0,001	99,90	36,5	0,001	0,001	<0.001
L16025118	B6b / R	0,001	100,00	36,3	0,001	0,002	0,001
L16025119	B6b / J	0,002	99,90	38,9	0,001	0,002	<0.001
L16025120	A3 / S	0,001	99,90	36,4	0,001	0,001	<0.001
L16025121	A3 / R	<0.001	99,90	34,6	0,003	0,002	<0.001
L16025122	A3 / J	<0.001	99,90	39,7	<0.001	0,002	0,001
L16025123	A4a / S	0,002	100,00	36,4	<0.001	0,001	<0.001
L16025124	A4a / R	0,001	100,00	36,1	0,001	0,002	<0.001
L16025125	A4a / J	<0.001	99,90	39,0	<0.001	0,002	<0.001
L16025126	A4b / S	0,001	99,90	36,4	0,001	0,001	<0.001
L16025127	A4b / R	0,001	100,00	34,0	0,003	0,002	0,001
L16025128	A4b / J	0,002	100,00	38,9	<0.001	0,001	0,001
L16025129	B4a / S	0,002	100,00	36,5	0,001	0,001	<0.001
L16025130	B4a / R	0,001	100,00	34,5	0,002	0,002	0,001
L16025131	B4a / J	0,001	99,90	39,0	<0.001	0,002	<0.001
L16025132	B4b / S	0,001	100,00	36,5	0,002	0,001	<0.001
L16025133	B4b / R	0,003	99,90	33,0	0,004	0,003	0,001
L16025134	B4b / J	0,001	99,90	38,3	<0.001	0,001	<0.001

## LIITE 2/7

Laboratorion näytetunnus	Tilaaajan näytetunnus	Fe %	Mn %	Mg %	Ca %	Ba %	C %
		180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16025096	A4c / S	0,09	0,003	<0.01	0,080	0,003	
L16025097	A4c / R	1,96	0,003	<0.01	0,086	0,007	
L16025098	A4c / J	0,75	0,008	0,16	0,261	0,079	
L16025099	B4c / S	0,11	0,004	0,02	0,129	0,004	
L16025100	B4c / R	0,13	0,003	0,01	0,126	0,003	
L16025101	B4c / J	0,13	0,007	0,05	0,138	0,005	
L16025102	A6c / S	0,15	0,005	0,01	0,086	0,004	
L16025103	A6c / R	0,13	0,003	0,01	0,086	0,002	
L16025104	A6c / J	0,11	0,004	0,01	0,077	0,002	
L16025105	B6c / S	0,11	0,003	0,02	0,125	0,004	
L16025106	B6c / R	0,10	0,004	0,02	0,123	0,004	
L16025107	B6c / J	0,14	0,005	0,04	0,135	0,004	
L16025108	A6a / S	0,10	0,003	<0.01	0,078	0,005	
L16025109	A6a / R	0,13	0,004	<0.01	0,083	0,003	
L16025110	A6a / J	0,04	<0.001	<0.01	0,045	0,002	
L16025111	A6b / S	0,10	0,004	<0.01	0,078	0,003	
L16025112	A6b / R	0,12	0,004	<0.01	0,078	0,004	
L16025113	A6b / J	0,08	0,001	<0.01	0,051	0,004	
L16025114	B6a / S	0,10	0,004	0,02	0,130	0,003	
L16025115	B6a / R	0,11	0,004	0,02	0,144	0,005	
L16025116	B6a / J	0,07	0,002	0,02	0,095	0,005	
L16025117	B6b / S	0,10	0,003	0,02	0,129	0,006	
L16025118	B6b / R	0,09	0,003	0,02	0,124	0,004	
L16025119	B6b / J	0,14	0,010	0,06	0,124	0,004	
L16025120	A3 / S	0,10	0,004	<0.01	0,078	0,003	
L16025121	A3 / R	0,14	0,004	<0.01	0,075	0,006	
L16025122	A3 / J	0,06	0,003	<0.01	0,053	0,003	
L16025123	A4a / S	0,10	0,004	<0.01	0,080	0,002	
L16025124	A4a / R	0,11	0,003	<0.01	0,076	0,003	
L16025125	A4a / J	0,09	0,005	<0.01	0,069	0,004	
L16025126	A4b / S	0,10	0,004	<0.01	0,079	0,003	
L16025127	A4b / R	0,16	0,004	<0.01	0,073	0,003	
L16025128	A4b / J	0,05	0,003	<0.01	0,065	<0.002	
L16025129	B4a / S	0,11	0,004	0,02	0,129	0,006	
L16025130	B4a / R	0,12	0,004	0,01	0,134	0,004	
L16025131	B4a / J	0,08	0,003	0,02	0,114	0,006	
L16025132	B4b / S	0,11	0,004	0,02	0,129	0,004	
L16025133	B4b / R	0,19	0,005	0,02	0,140	0,006	
L16025134	B4b / J	0,07	0,003	0,02	0,121	0,002	

### Kaikkien vaahdotuskokeiden saannit



	SiO2	Al2O3	Na2O	K2O
A3	10,21634615	91,48486981	95,08402765	93,64814815
A6a	43,64776579	78,14178303	73,57859532	83,28168383
A6b	22,16380514	86,33476218	86,89721029	86,76207513
B6a	32,7821711	80,51049618	77,56672218	84,78121952
B6b	5,721153846	94,76923077	90,75980392	97,27316473
A3	38,04391406	75,94878727	78,56756269	77,4941391
A4a	38,04391406	75,94878727	78,56756269	77,4941391
A4b	52,37912794	63,45061126	51,01078961	70,58287796
B4a	46,77884615	67,24696579	62,90372955	72,95901316
B4b	67,91468119	45,53167421	43,28331862	56,05063291

